FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

L'AIR ATMOSPHÉRIQUE

7

THESE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(Section de Physique et de Chimie).

Et soutenue à la Faculté de médecine de Paris



PAR

Emile MORELLE

Docteur en médecine,

Pharmacien de première classe (diplôme supérieur),

et licencié ès sciences physiques.

PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

A. DAVY, Successeur,

52, rue Madame et rue Corneille, 3

—

1886

0 1 2 3 4 5 (cm)

CONCOURS D'AGREGATION

SECTION DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE

Membres du jury :

Président : M. GAVARRET.
Juges : MM. REGNAULD.
GAUTIER, *membre de l'Académie de médecine.*
GARIEL, *membre de l'Académie de médecine.*
CROLAS.
MOITESSIER.

Candidats :

PHYSIQUE.	CHIMIE.	PHARMACIE.
MM. DIDEROT.	MM. VILLEJEAN.	MM. FLORENCE.
LAURET.	LAMBLING.	THIBAUT.
MALOSSE.	HUGOUNENQ.	
BOREL.	GUÉRIN.	
	MORELLE.	

PUBLICATIONS DE L'AUTEUR :

Sur l'identité des inulines de diverses provenances. Note présentée à l'Académie des sciences, le 29 juillet 1878, par MM. Lescœur et Morelle.

Recherches sur la bergenite. Thèse présentée à l'Ecole supérieure de pharmacie de Nancy, pour obtenir le diplôme supérieur de pharmacien de première classe, le 8 juin 1882.

Recherche des leucomaïnes dans la rate. Thèse de doctorat en médecine présentée à la Faculté de médecine de Lille, le 30 mars 1886.

A M. Armand GAUTIER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine.

A M. LE DOCTEUR LESCŒUR

Professeur à la Faculté de médecine de Lille.

Témoignage de reconnaissance.

E. Morelle.

L'AIR ATMOSPHÉRIQUE

INTRODUCTION.

L'étude de l'air a de tout temps exercé la sagacité des savants. Quoique les anciens n'aient pu se faire de la nature de l'air qu'une opinion fort incertaine, on ne peut cependant s'empêcher d'admirer la justesse des idées émises par plusieurs philosophes sur ce sujet.

Lorsqu'on lit, par exemple, dans les auteurs anciens les opinions de Diogène d'Apollonie sur l'air, on y trouve un certain nombre de vérités mélangées d'erreurs.

Ainsi Diogène pensait que l'air fournit les éléments de toutes choses (1). D'après lui, l'eau contient de l'air ; c'est par cet air que les poissons respirent dans l'eau ; et s'ils meurent dans l'air, c'est qu'ils en respirent trop à la fois et qu'il y a mesure à tout (2). L'air peut être chaud ou froid, sec ou humide, condensé ou raréfié, agité ou calme dans des proportions indéfinies ; et, dans

(1) St-Augustin, de Civ. Dei, VIII, 2.

(2) Aristote, métaphys., I, 3 ; de respirat., I, 2 et 3.

des conditions diverses, l'air est plus ou moins apte à engendrer de nouvelles choses (1). L'air est la source de toute vie. Les hommes et les êtres vivants ne vivent que parce qu'ils respirent de l'air. Toute vie cesse au moment où la respiration s'arrête (2). La pensée repose sur ce que l'air parcourt avec le sang tout le corps (3). Les métaux absorbent des corps aériformes et les dégagent dans certaines conditions (4), etc.

Beaucoup de ces idées sont encore celles que l'on enseigne de nos jours. La croyance des anciens, que les animaux et les plantes tirent leur origine de l'air, a été enseignée par le grand Dumas lui-même. Dans son cours de chimie organique fait en 1841 à la Faculté de Médecine de Paris, Dumas dit : Les animaux et les plantes dérivent de l'air, ne sont que de l'air condensé. Ils viennent de l'air et y retournent ; ce sont de véritables dépendances de l'atmosphère.

Jusqu'au seizième siècle, l'air fut considéré comme un élément, c'est-à-dire comme un corps simple et même comme l'élément unique d'où dérivent tous les corps. A partir de cette époque, l'expérience fournit un certain nombre de faits qui mirent sur la voie de la véritable constitution de l'atmosphère ; mais jusqu'à Lavoisier aucune démonstration rigoureuse de la composition de l'air ne fut donnée ; c'est à lui que revient la gloire d'avoir fixé par une expérience à jamais mémorable que l'air est

(1) Diogène. Laert., IX, 57.

(2) Simplicius. In phys. Arist., I.

(3) Ibid.

(4) Alexandre. Aphrodis., quæst. natur., II, 23, fol. 28.

essentiellement formé de deux gaz, qu'il nomma oxygène et azote.

La tâche des chimistes qui vinrent après Lavoisier fut d'imaginer des méthodes permettant de déterminer les proportions exactes de ces deux gaz et des principes qui les accompagnent. Leurs travaux démontrèrent un point d'une haute importance, à savoir, les faibles variations de la compostion de l'air, et firent connaître les causes de cette stabilité. Ils dévoilèrent également les réactions chimiques dont l'atmosphère est le siège sous l'influence de l'énergie qui lui est communiquée par les rayons solaires.

Enfin, de nos jours, le génie d'un savant éminent, dont notre pays a le droit de se glorifier, a révélé l'existence au sein du gaz qui nous fait vivre de semences, de germes dont l'étude nous apprendra dans un aveuir prochain les causes des maladies épidémiques et nous donnera les moyens de les combattre ou de les éviter.

On comprend, d'après cet exposé, la quantité innombrable de documents qui ont dû être accumulés sur l'air pendant des siècles et que le court espace de temps qui m'est dévolu pour terminer ce travail né me permet que d'en donner une brève analyse.

Je diviserai l'Etude de l'air en six chapitres qui seront traités dans l'ordre suivant :

I. — Opinion des anciens sur la nature de l'air ;

II. — Composition de l'air ;

III. — De la vapeur d'eau dans l'air ;

IV. — De l'acide carbonique dans l'air ;

V. — Des substances diverses qu'on peut encore rencontrer dans l'atmosphère ;

VI. — Des poussières et des germes atmosphériques.

CHAPITRE I.

OPINION DES ANCIENS SUR L'AIR.

L'air tient une grande place dans la conception que les anciens philosophes grecs se faisaient du monde ; leur matérialisme primitif voulait y voir un des éléments primordiaux de là nature et pour ainsi dire le principe unique et fécond de l'univers. L'air était pour l'école d'Anaximène de Milet (557 av. J.-C.) la matière première dont tout émane par raréfaction ou par condensation. Ils assimilaient les corps inorganiques aux êtres vivants et ils en déduisaient que l'air est le grand principe de la vie et de la cohésion des corps : Quand la respiration cesse, la vie s'arrête et le corps se dissout et se décompose.

Empédocle, le premier, nous donne la distinction des quatre éléments dont toutes choses sont composées : la terre, l'eau, l'air, le feu. La matière, une d'essence, revêt ces quatre formes dans un jeu de transformations perpétuelles. Cette conception des quatre éléments est la base de la physique d'Aristote. Ce philosophe ne s'occupa guère que des propriétés physiques de l'air. Il essaya même d'en déterminer le poids ; il pesait une outre vide, puis pleine d'air ; ne trouvant pas d'augmentation de poids, il en conclut que l'air ne pesait point.

L'école d'Aristote a fait loi pendant tout le moyen âge

et il faut attendre le réveil des idées produit par la Renaissance pour trouver enfin des méthodes et des doctrines vraiment scientifiques, dégagées de tous les rêves et de toutes les imaginations des philosophes et des scholastiques.

Je ne ferai qu'indiquer les idées de Roger Bacon (1264) et de Paracelse (1493) sur la nature de l'air. Elles ne différaient pas beaucoup de celles des anciens. Pour ces philosophes, l'air est l'aliment du feu. Ils considéraient tous les gaz comme de l'air.

Robert Boyle (1626) définit l'air : un fluide ténu, transparent, compressible, dilatable, enveloppant la surface de la terre jusqu'à une hauteur considérable, se distinguant de l'éther en ce qu'il réfracte les rayons du soleil. Il pense que l'air est une matière complexe. Il montre par une série d'expériences que l'air joue un rôle actif dans un grand nombre d'opérations chimiques.

Malgré la tentative infructueuse d'Aristote pour peser l'air les anciens croyaient à sa matérialité, ainsi que le démontre ce passage de Sénèque (1) : Les vents qui emportent quelquefois avec eux des poids énormes, attestent, ainsi que les sons, la force et la résistance de l'air. Cet auteur compare les vents aux ondes de la mer.

C'est à Jean Rey, médecin du Périgord, que l'on doit d'avoir dissipé tous les doutes sur ce sujet. Il constata l'augmentation de poids d'un ballon de verre à robinet dans lequel il avait comprimé de l'air avec un soufflet (1630). Voici dans quels termes il explique l'insuccès

(1) Sénèque. Quæst. natural, II, 6.

de ses devanciers d'une façon vraiment scientifique : « Balançant l'air dans l'air même, et ne luy trouvant point de pesanteur, les philosophes ont creu qu'il n'en avait point. Mais qu'ils balancent l'eau (qu'ils croient pesante) dans l'eau mesme, ils ne luy en trouveront non plus : estant très véritable que nul élément pèse dans soi-mesme. Tout ce qui pèse dans l'air, tout ce qui pèse dans l'eau, doibt soubs esgal volume contenir plus de poids (pour le plus de matière) que ou l'air ou l'eau, dans lesquels le balancement se pratique (1). »

Jean Rey conclut de ce que l'air est pesant, que l'augmentation de poids qu'éprouvent les métaux chauffés dans ce gaz est due à une fixation d'air sur eux. Il répond aux chimistes de son temps qui se demandaient pourquoi l'étain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine :

« A cette demande doncques, appuyé sur les fondements jà posez, je responds et soutiens glorieusement que ce surcroit de poids vient de l'air, qui dans le vase a esté espessi, appesanti et rendu aucunement adhésif par la véhemente et longuement continue chaleur du fourneau ; lequel air se mesle avec la chaux et s'attache à ses plus menues parties (2). »

Les expériences de Jean Rey furent refaites et confirmées par Galilée en 1640, puis, avec plus d'éclat, par l'inventeur de la machine pneumatique, Otto de Guéricke, en 1650. Toricelli, disciple de Galilée, par l'invention du

(1) Essais sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine. Bazas, 1630.

(2) Essais, etc.

baromètre, en 1643, fournit le moyen de mesurer la pression atmosphérique avec précision.

La question relative à la nature de l'air était toujours obscure. Boyle avait constaté que la calcination du plomb dans un espace limité occasionna une diminution du volume de l'air et une augmentation du poids du métal ; mais il mit ce dernier résultat sur le compte de la chaleur. Jean Mayou (1669) jeta quelque lumière sur ce sujet ; il entrevit dans l'air l'existence d'un principe qui intervient dans la formation du nitre ; il l'appela esprit vital, esprit de feu, esprit nitro-aérien. C'est lui qui corrode la limaille de fer exposée à l'air et la convertit en safran de mars apéritif. Cet esprit nitro-aérien, quel qu'il soit, sert d'aliment au feu, entretient la respiration des animaux et il ne faut pas le confondre avec l'esprit acide de nitre qui est corrosif.

« D'abord, on m'accordera, dit Mayou, qu'il existe, quel que soit le corps, quelque chose d'aérien, nécessaire à l'alimentation de la flamme ; car l'expérience démontre que la flamme exactement emprisonnée sous une cloche ne tarde pas à s'éteindre, non pas, comme on le croit communément, par l'action de la suie qui se produit, mais par privation d'un aliment aérien. Mais il ne faut pas s'imaginer que l'aliment igno-aérien soit tout l'air lui-même ; non : il n'en constitue qu'une partie, mais la partie la plus active.

« Que deviennent, pendant la combustion, les particules igno-aériennes ? Nous n'en savons rien, sinon qu'elles se convertissent en un air pernicieux (1). »

(1) Tractatus quinque medico-physici, etc. Oxonii, 1674, in-8°.

On ne peut pas être plus précis, et il est impossible de ne pas reconnaître dans ces particules nitro-aériennes ou esprit nitro-aérien, le gaz qui fut plus tard appelé oxygène. C'est à peine si l'on peut croire que Mayou vivait cent ans avant Lavoisier, à une époque où l'on admettait encore des théories alchimiques qui remontaient au delà du moyen âge. La mort prématurée de ce chimiste supérieur, qui arriva en 1679, retarda d'un siècle l'avènement de la chimie moderne.

Vers cette époque naquit la célèbre théorie du phlogistique (1660). Stahl, son auteur, donna au moyen de cette théorie l'explication de la formation des chaux métalliques. D'après Stahl, qui avait emprunté cette idée à Becher, les métaux renferment un principe de combustibilité, qui fut nommé phlogistique (de φλοξ flamme). Ce principe, combiné aux corps, est latent; il n'est appréciable à nos sens que lorsqu'il se dégage d'un corps quelconque; il constitue alors le feu. La combustion n'est autre chose que le passage du feu combiné à l'état de feu libre. Plus un corps est combustible, plus il est riche en phlogistique. Un métal, d'après Stahl, est un composé formé de phlogistique et d'une chaux dont le caractère est d'être pulvérulente, terreuse. Lorsqu'on chauffe un métal, son phlogistique se dégage et la chaux reste; si l'on chauffe cette chaux avec un corps riche en phlogistique, le charbon par exemple, on reproduit le métal.

« Nous savons fort bien, disent les phlogisticiens, que les métaux augmentent de poids pendant la calcination; mais ce fait, loin d'infirmer la théorie du phlogistique, vient, au contraire, la confirmer. Le phlogistique, étant

plus léger que l'air, tend à soulever le corps avec lequel il est combiné, et à lui faire perdre une partie de son poids ; ce corps pèse donc davantage après avoir perdu son phlogistique. »

La théorie de Stahl fut nuisible aux progrès de la science. Le 1er août 1774, Priestley découvre l'oxygène en chauffant l'oxyde rouge de mercure. Il reconnaît la nécessité de ce gaz pour la combustion et la respiration ; il croit que l'air en renferme ; mais il considère celui-ci comme formé : d'air chargé de phlogistique et d'air qui en est exempt (oxygène.

En somme, pour Priestley, l'air est formé d'un seul gaz en partie chargé de phlogistique, en partie déphlogistiqué.

L'air phlogistiqué (azote) est isolé en 1772 par Rutherford ; en absorbant par la potasse l'acide carbonique contenu dans l'air respiré par les animaux, il constate que le gaz restant est impropre à la combustion et à la respiration.

Scheele lui-même ne sut pas s'affranchir du joug du phlogistique. Cet illustre chimiste, théoricien médiocre mais expérimentateur incomparable, publia en 1777 (1) un livre intitulé « De l'air et du feu » dans lequel il s'égare dans les doctrines de Stahl. Il arrive aux conclusions suivantes : 1° Le phlogistique est un véritable élément ; 2° il peut se transmettre d'un corps à l'autre ; 3° en se combinant avec l'air du feu (oxygène) il constitue le calorique ;

(1) Chemische Abhandlung von der Luft und Feuer, etc. (Upsal et Leipzig), 1777.

4° le calorique par suite de la combustion et de la respiration, adhère à l'air corrompu (azote) et le rend plus léger (1). Mais sur le terrain de l'expérimentation, Scheele n'a été surpassé par aucun de ses contemporains. Il découvre l'oxygène en même temps que Priestley. Dans un mémoire sur l'analyse de l'air (2) qu'il publia à la suite du livre de l'air et du feu, il montra que l'air est un mélange de deux fluides bien distincts, dont l'un s'appelle l'air vicié « parce qu'il est absolument dangereux et mortel, soit pour les animaux, soit pour les végétaux ; l'autre s'appelle air pur ou air de feu, parce qu'il est tout à fait salutaire et qu'il entretient la respiration. » Scheele trouva que l'air contient une quantité à peu près invariable d'air déphlogistiqué (oxygène) et que cette quantité est de neuf trente-troisièmes, c'est-à-dire un peu plus de vingt-cinq pour cent.

Ainsi Priestley et Scheele reconnurent que l'air est formé de deux gaz. Scheele fit même un pas de plus que son émule dans la connaissance de l'air ; il détermina les proportions approximatives de ces deux gaz. Mais tous deux se trompèrent sur la nature véritable de l'oxygène.

Pour Priestley ce gaz était de l'air déphlogistiqué, apte à s'emparer du phlogistique des corps combustibles. Pour

(1) Traité chimique de l'air et du feu, etc., traduit de l'allemand par le baron de Dietrich, secrétaire des Suisses et Grisons, etc. Paris, 1781, p. 145.

(2) Quantum aeris puri in atmosphera quotidie insit. Acta Acad. reg. succ. Anni 1779.

Scheele l'air comburant, en s'unissant au phlogistique, produisait de la chaleur et celle-ci pouvait se dédoubler en ces deux éléments. Il était réservé au génie de Lavoisier de faire justice de ces théories absurdes et d'assigner aux faits leurs véritables caractères.

CHAPITRE II

COMPOSITION DE L'AIR

I. *Expériences et théorie de Lavoisier.*

La question qui fixa d'abord l'attention de Lavoisier fut celle de l'augmentation du poids des métaux par la calcination. Les chimistes et physiciens contemporains de Lavoisier admettaient sur la foi de Boyle que la matière de la flamme et du feu pénétrait à travers la substance du verre, dans lequel on calcinait les métaux, se combinait à ces derniers et que c'était à cette union qu'était due la conversion des métaux en chaux et leur augmentation de poids. Lavoisier fit ce raisonnement : « Si l'augmentation du poids des métaux calcinés dans les vaisseaux fermés est due, comme le pensait Boyle, à l'addition de la matière du feu qui pénètre à travers les pores du verre et se combine avec le métal, il s'ensuivra que si, après avoir introduit une quantité connue de métal dans un vaisseau de verre et l'avoir scellé hermétiquement, on en détermine exactement le poids, qu'on procède ensuite à la calcination par le feu des charbons, comme l'a fait Boyle, enfin, qu'on repèse le même vaisseau après la calcination, avant de l'ouvrir, son poids devra se trouver augmenter de toute la quantité de matière du feu qui s'est introduite pendant la calcination. Si, au contraire, l'augmentation

du poids de la chaux métallique n'est point due à la combinaison de la matière du feu, ni d'aucune matière extérieure, mais à la fixation d'une portion d'air contenu dans la capacité du vaisseau, le vaisseau ne devra point être plus pesant après la calcination qu'auparavant, il devra seulement se trouver en partie vide d'air, et ce n'est que du moment où la portion d'air manquante sera rentrée, que l'augmentation du poids du vaisseau devra avoir lieu. »

L'éxpérience vérifia ce raisonnement rigoureux ; il fut donc autorisé à conclure que « les cornues scellées, hermétiquement pesées avant et après la calcination de la portion d'étain qu'elle contiennent, ne présentent aucune différence de pesanteur, ce qui prouve évidemment que l'augmentation de poids qu'acquiert le métal ne provient ni de la matière du feu, ni d'aucune matière extérieure à la cornue. »

Il tira encore cette autre conclusion fondamentale : « qu'une portion de l'air est susceptible de se combiner avec les substances métalliques pour former des chaux, tandis qu'une autre portion de ce même air se refuse constamment à cette combinaison. L'atmosphère n'est donc point un être simple, il est composé de deux substances différentes. C'est la portion salubre de l'atmosphère qui se combine avec les métaux pendant la calcination, et ce qui reste après la calcination est une espèce de mofette, incapable d'entretenir la respiration des animaux et l'inflammation des corps. »

Ces dernières affirmations n'étaient pas suffisamment démontrées ; il fallait pour dissiper tous les doutes isoler

cette portion salubre absorbée par les métaux ; mais le plomb et l'étain ne rendent pas en chauffant ce qu'ils ont absorbé pendant leur calcination au contact de l'air. Si on les chauffe avec du charbon on obtient un air irrespirable, bien différent de la mofette dont il a été question plus haut. Lavoisier avait constaté que le gaz qui se produit quand on chauffe la chaux de plomb avec du charbon trouble l'eau de chaux tandis que l'air dans lequel on a calciné les métaux ne produit pas cet effet.

Heureusement le mercure, comme l'avait déjà observé Eck de Sulzbach, a la propriété d'abandonner, dans la seconde période de chaleur, la portion d'air qu'il avait absorbée pendant la première. Lavoisier tenait sa démonstration. Il met quatre onces de mercure dans un matras de verre dont le col long et recourbé venait déboucher dans le haut d'une cloche placée sur la cuve à mercure. Au moyen d'un tube recourbé, il enlève une partie de l'air de la cloche et note soigneusement le niveau ou le mercure s'arrête. Il connaît ainsi le volume total de l'air contenu dans son appareil. Alors il chauffe jour et nuit son matras à la température de l'ébullition du mercure. Dès le second jour des pellicules rouges se forment à la surface de ce métal : c'est la chaux mercurielle, ou précipité *per se*, qui continue à se former jusqu'au huitième jour. Au bout du douzième jour, comme la chaux ne paraissait plus se former, Lavoisier arrête l'opération; laisse refroidir l'appareil et constate que dans la cloche le niveau de mercure s'est élevé et que l'air a diminué de 1/6 environ de son volume. Le gaz qui restait était impropre à la respiration et à la combustion : « Les animaux

qu'on y introduisait périssaient en peu d'instants, et les lumières s'y éteignaient sur-le-champ, comme si on les eût plongées dans l'eau. » Les pellicules rouges furent rassemblées ; elles pesaient 45 grains. Chauffées dans une petite cornue munie d'un tube abducteur se rendant sur le mercure, elles se décomposèrent et donnèrent 41,5 grains de mercure condensé sur le col de la cornue et 7 à 8 pouces d'un gaz qui passa sous une éprouvette : c'était bien le volume d'air disparu et ce gaz possédait toutes les propriétés de « l'air pur » que venait de découvrir Priestley dans la calcination de cette même chaux mercurielle. Il était beaucoup plus propre que l'air à entretenir la combustion et la respiration. Une bougie y brûlait avec un éclat éblouissant ; le charbon s'y consumait avec une vivacité de lumière que les yeux avaient peine à supporter.

La calcination des métaux à l'air consiste donc dans l'absorption, sous l'influence de la chaleur, d'un gaz qui constitue une partie de l'air, *la portion salubre de l'air* ; car si l'on chauffe la chaux mercurielle obtenue on régénère le mercure et le gaz et le volume de celui-ci est précisément égal au volume de l'air disparu pendant la calcination. Bien plus, si on mélange les deux gaz qu'on a isolés au moyen du mercure : la mofette irrespirable et la portion salubre, comme l'a fait Lavoisier, on reforme un air semblable en tout à l'air atmosphérique.

Lavoisier eut donc le droit de conclure que l'air est formé de 1/6 en volume d'un gaz, très propre à la combustion et à la respiration, qui reçut peu après le nom d'oxygène et de 5/6 d'un autre gaz irrespirable, qui fut appelé azote. La composition de l'air se trouva définiti-

vement fixée. Mais la méthode de Lavoisier n'était pas susceptible d'une grande précision en tant que méthode analytique, et tout n'était pas dit sur la composition de l'air ; il était important de déterminer les proportions exactes des éléments de l'air, de connaître si la composition de l'air est la même en tous les points de l'atmosphère, si elle ne varie pas avec le temps et sous l'influence de différentes causes ; de savoir enfin si l'air est une combinaison ou un mélange.

Je ne décrirai pas toutes les méthodes analytiques qui ont été employées depuis Lavoisier pour trouver la véritable composition de l'air ; j'en donnerai simplement le principe et les résultats auxquels elles ont conduit.

II. *Méthode eudiométrique de Gay-Lussac et Humboldt.*

Après les expériences de Lavoisier les chimistes recherchèrent les méthodes les plus propres à déterminer les proportions exactes dans lesquelles l'oxygène et l'azote se trouvent dans l'air. Ils employérent différentes méthodes eudiométriques, consistant à absorber l'oxygène par un réactif convenable dans un volume d'air donné. C'était par un procédé semblable que Schecle avait trouvé 27 p. 100 d'oxygène dans l'air. Les résultats qu'obtinrent les chimistes furent peu concordants. Cavendish, Marti, Berthollet, Fourcroy, Davy trouvèrent 23 p. 100 d'oxygène. La question qui se posa alors fut de savoir si les différences obtenues étaient dues à des erreurs d'analyse ou bien à des variations considérables dans la composition de l'air.

Gay-Lussac et Humboldt en 1805 (1) cherchèrent à se rendre compte du degré de précision que comportaient les méthodes eudiométriques employées jusque-là et constatèrent qu'elles étaient défectueuses. Ils eurent alors l'idée de se servir dans leurs recherches sur la composition de l'air de l'eudiomètre de Volta. Il soumirent préalablement cet instrument à quelques essais pour savoir : 1° Si, en traitant un mélange d'hydrogène et d'oxygène dans l'eudiomètre l'absorption de l'un des gaz est complète ; 2° Si le produit de leur combinaison est constant; 3° Quelles sont les proportions exactes des deux gaz qui entrent dans la composition de l'eau. Ils constatèrent que l'eudiomètre de Volta donne des résultats comparables, et qu'il peut accuser toute la quantité d'oxygène contenu dans l'air. Les conclusions du travail de Gay-Lussac et Humboldt sur l'air furent les suivantes :

1° L'atmosphère ne varie pas généralement dans sa composition.

2° Elle contient 21 p. 100 d'oxygène en volume.

3° Elle ne contient pas d'hydrogène.

Beaucoup de chimistes admirent ces résultats. Pour Dœbereiner, Prout, Folkner, Thompson, la constance de la composition de l'air était un fait acquis ; Thompson déduisait même de cette donnée les densités de l'oxygène et de l'azote.

Mais Dalton croyait, lui, que l'air était un mélange variable d'oxygène et d'azote, plus riche en oxygène dans les couches inférieures que nous habitons, mais dont la

(1) Journal de physique, t. LX, 1805.

teneur en azote augmente à mesure qu'on gagne les couches supérieures. C'était pour Dalton une conviction profonde, fondée sur le calcul. Babinet est d'ailleurs arrivé à des résultats analogues. D'après ces savants l'air formé à Paris de 21 p. 100 d'oxygène pour 79 d'azote changerait de composition d'après le tableau suivant à mesure qu'on s'élèverait dans l'atmosphère.

Hauteurs.	Oxygène pour 100 vol. d'air.
0 mèt.................	21
2000 —	20.46
6000 —	19.42
10000 —	18.42

Ces calculs se trouvaient en désaccord complet avec l'analyse que Thénard venait de faire de l'air recueilli par Gay-Lussac dans son ascension (21,6 0/0 d'oxygène à 7000 m. d'altitude); en désaccord aussi avec les expériences faites un peu plus tard par Brünner au sommet du Faulhorn.

Enfin quelques chimistes voulaient encore considérer l'air non comme un mélange, mais comme une véritable combinaison définie de 20 d'oxygène pour 80 d'azote.

Cette divergence d'opinions rendait nécessaire de nouvelles analyses exécutées par une méthode dont la précision mettrait les résultats hors de toute contestation.

Cette méthode fut imaginée en 1841 par MM. Dumas et Boussingault.

III. *Méthode par les pesées de MM. Dumas et Boussingault.*

Le procédé de MM. Dumas et Boussingault a été placé par ces deux savants en dehors des données analytiques antérieures qui leur paraissaient mériter peu de confiance. Il repose entièrement sur les pesées ; il est resté classique, et comme tel il se trouve décrit dans tous les cours élémentaires de chimie ; nous ne nous appesantirons pas sur les détails.

On fait passer dans un tube chauffé au rouge et contenant de la tournure de cuivre, un courant d'air débarrassé de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique ; le tube avait été préalablement vidé d'air et pesé. — L'oxygène se fixe sur le cuivre et l'azote passe dans un grand ballon d'abord vide et pesé.

L'excès de poids de ce ballon donne une partie du poids de l'azote ; l'autre partie restée dans le tube s'obtient ainsi : on pèse le tube plein d'azote et on le pèse de nouveau après y avoir fait le vide ; la différence donne le poids de l'azote contenu. La différence entre le poids initial du tube vide d'air avant et après l'expérience donne le poids de l'oxygène. — La somme de l'oxygène et de l'azote est le poids de l'air analysé.

Dans ces expériences, Dumas et Boussingault remarquèrent que la presque totalité du tube contenait encore du cuivre métallique ; cette circonstance démontra que tout l'air avait été débarrassé de son oxygène ; du reste, pour s'assurer que tout l'oxygène avait été bien absorbé, les

deux chimistes employèrent le proto-chlorure de cuivre ammoniacal qui ne se colora pas.

Les expériences de Dumas et Boussingault sont venues confirmer les idées des chimistes français sur la composition de l'air, idées fondées sur les belles expériences eudiométriques que Gay-Lussac et Humboldt avaient faites 35 ans auparavant. Cependant, la méthode de ces derniers, moins précise, comportait une erreur de 1/100 suffisamment expliquée par l'impureté de l'hydrogène recueilli sur l'eau. Dumas et Boussingault ont trouvé 20,8 vol. d'oxygène; Gay-Lussac et Humboldt avaient donné 21 vol.

Pour une moyenne de six expériences, MM. Dumas et Boussingault trouvèrent en poids, 23 d'oxygène pour 77 d'azote. Ils voulurent déduire de ces nombres la composition en volume de l'air. Mais ayant constaté que les densités de l'oxygène et de l'azote données par Berzélius étaient inexactes, ils déterminèrent eux-mêmes ces densités et trouvèrent.

O..... 1.1057 Az..... 0.972

Le volume de l'oxygène est donc $\frac{23.01}{1.1057} = 20.81$

Celui de l'azote .... $\frac{76.99}{0.972} = 79.19$

Cette fois la composition de l'air était définitivement fixée.

MM. Dumas et Boussingault vérifièrent ensuite que la composition de l'air est invariable, ou tout au moins que les différences qu'elle éprouve sous certaines influences ne sont pas plus grandes que les erreurs que comporte la

méthode analytique employée. L'oxygène étant plus soluble dans l'eau que l'azote, ils furent conduits à rechercher l'influence de la pluie; leurs résultats furent les suivants :

Temps sec.............	23.040	d'oxygène.
— pluvieux..........	23.015	—

c'est-à-dire identiquement la même composition.

Ils recherchèrent aussi l'influence de l'altitude.

Nous avons vu plus haut la théorie de Dalton et de Babinet contredite par l'analyse de l'air recueilli par Gay-Lussac à 7,000 d'altitude. MM. Dumas et Boussingault s'appuyèrent pour combattre l'idée fausse de Dalton, sur des expériences faites par Brünner au sommet du Faulhorn (1950 m.), et par Verver à Gröningue.

Brünner avait trouvé comme moyenne

O.........	230.10
Az........	769.90
	1000.00

et Verver 22,998 d'oxygène; c'est-à-dire, la même chose qu'à Paris.

Restait à résoudre la question de la variation de composition de l'air à des époques très éloignées; ne pouvant s'appuyer sur des analyses antérieures, MM. Dumas et Boussingault comparèrent le poids de l'air déterminé avec soin par MM. Biot et Arago, à celui qu'ils déterminèrent eux mêmes.

Biot et Arago avaient donné D = 1,2991.

Dumas et Boussingault trouvèrent pour une moyenne de quatre expériences D = 1, 2995.

En comparant ces deux nombres, ils purent conclure que l'air n'avait pas changé de composition d'une manière appréciable depuis quarante ans.

De toutes les recherches précédentes, il résulte :

1° Qu'il n'y a pas de rapport simple entre les proportions d'oxygène et d'azote contenues dans l'air.

2° Que ce rapport est invariable à des époques assez distantes et à des hauteurs assez différentes.

Quant à la question de l'influence des combustions, de la respiration des animaux et des plantes sur l'altération de l'air, MM. Dumas et Boussingault s'en occupèrent longuement. Ils virent que cette influence est inappréciable en présence de la masse énorme de l'atmosphère.

Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question au chapitre de l'acide carbonique.

IV. — *Autres méthodes d'analyse de l'air.*

Toutes les méthodes d'analyse de l'air qui ont été données depuis Dumas et Boussingault n'ont fait que confirmer les résultats trouvés par ces deux éminents chimistes.

Nous allons rapidement les passer en revue.

— Brünner (1) a fait usage pour ses expériences d'un aspirateur qui a servi de modèle à celui qui fut employé par M. Boussingault pour le dosage de l'acide carbonique;

(1) Ann. de chim. et physique (3), t. III, p. 305.

nous le décrirons plus loin. Au moyen de cet aspirateur, Brünner fait passer lentement un volume connu d'air, dépouillé de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, sur du phosphore chauffé légèrement dans un tube. L'oxygène se fixe sur le phosphore; son poids est donné par l'augmentation de poids de ce dernier. L'air est mesuré par le volume d'eau écoulé de l'aspirateur; on fait les corrections relatives à la presssion, à la température et à la tension de la vapeur d'eau. Dans la suite de ses expériences, Brünner a remplacé l'eau par de l'huile dans son gazomètre.

— Regnault (1), en collaboration avec J. Reiset, donne dans un mémoire sur l'analyse des gaz, et la respiration des animaux, une méthode eudiométrique pour l'analyse de l'air. C'est le procédé de Gay-Lussac très perfectionné.

L'appareil de Regnault exige beaucoup d'attention de la part de l'opérateur, mais il fournit des résultats d'une exactitude remarquable.

Cet eudiomètre à mercure n'exige pas l'emploi de tubes jaugés pour la mesure du gaz; celui-ci est toujours ramené au même volume par une augmentation ou une diminution de pression. On y arrive au moyen d'un second tube vertical communiquant avec le tube eudiométrique et dans lequel on peut verser du mercure pour augmenter la pression et ramener le volume gazeux à son état primitif; au moyen d'un robinet à 3 voies on peut aussi, le cas échéant, laisser écouler du mercure pour diminuer la pression. Ces deux tubes verticaux sont divisés en millimètres; ils sont

(1) Ann. de chim. et physique, t. XXVI, p. 329.

entourés d'un manchon contenant de l'eau pour éviter les grandes variations de température. Les manipulations ne sont pas subies par le gaz dans le tube eudiométrique lui-même, mais dans un tube-laboratoire d'où Regnault le fait ensuite repasser dans l'eudiomètre. Toutes les mesures sont donc ramenées à déterminer la variation de la force élastique survenue après les manipulations subies par le gaz. C'est, en somme, une simple lecture de différence de niveau des deux colonnes mercurielles.

— Doyère (1) dans sa « méthode d'analyse des gaz » donne aussi un procédé eudiométrique exact; le dispositif permet de se dispenser des corrections relatives à la température et à la pression; on y arrive au moyen d'un régulateur spécial qui ramène chaque fois aux mêmes conditions la mesure du volume du gaz. Celle-ci s'effectue dans un tube jaugé maintenu verticalement sur une cuve à mercure. Le réactif ne doit jamais arriver dans le tube mesureur, car la netteté du ménisque en serait affectée et il faudrait de plus tenir compte de la petite colonne de liquide réactif au-dessus du mercure. Doyère opère le mélange avec le réactif dans la pipette d'Ettling qu'il a perfectionnée et transvase, seulement après les manipulations, le gaz dans le tube mesureur.

— Dans l'appareil volumétrique de Doyère, ce n'est plus comme dans les eudiomètres de Gay-Lussac et de Regnault, de l'hydrogène qu'on combine à l'oxygène pour former de la vapeur d'eau et mesurer le volume disparu; on se sert d'absorbants liquides spéciaux.

(1) Ann. de chim. et phys. (3), t. XXVIII, p. 5.

Ces absorbants sont nombreux ; Doyère, après Liebig, emploie la solution alcaline d'acide pyrogallique ou pyrogallate de potasse. Ces réactifs ont un défaut, c'est de pouvoir dissoudre une certaine quantité du gaz à essayer ; de plus, l'eau qu'ils renferment peut elle-même contenir en dissolution une petite quantité de gaz. C'est pour cela que Doyère recommande d'employer la plus petite quantité de réactif possible. La même recommandation est d'ailleurs applicable au procédé de Regnault, dans lequel, avant le dosage de l'oxygène, on absorbe l'acide carbonique par une dissolution de potasse.

L'emploi d'absorbants solides est préférable ; nous venons de voir Brünner se servir de phosphore dans sa méthode analytique ; c'est d'ailleurs le réactif indiqué dans tous les cours de chimie pour l'analyse de l'air. On fait passer dans une cloche courbe un volume connu d'air, puis un petit morceau de phosphore ; on chauffe, il y a combinaison du phosphore avec l'oxygène ; on laisse refroidir et on mesure le gaz restant, c'est l'azote ; le volume disparu est le volume de l'oxygène.

— Le savant chimiste allemand, Bunsen (1), dans sa « Méthode gazométrique » nous donne un nouvel eudiomètre d'un maniement simple et précis avec lequel on peut opérer tous les dosages relatifs à l'analyse de l'air. — C'est une cloche graduée, reposant sur une cuve à mercure spéciale dont une des parois est fermée par une glace. Dans cet eudiomètre on peut déterminer au moyen d'une étincelle électrique la combinaison de l'oxygène

(1) Méthodes géométriques, trad. T. Schneider. Paris, 1858.

avec de l'hydrogène ajouté. La mesure du volume se fait au moyen d'un cathétomètre. On note la température, la pression barométrique, la tension de la vapeur d'eau. La pression du gaz est la hauteur barométrique diminuée de la hauteur de la colonne mercurielle soulevée dans l'eudiomètre au-dessus du niveau de la cuve. On fait donc chaque fois les corrections nécessaires pour ramener le volume à ce qu'il serait à l'état sec, à 0° et à la pression de 1m. de mercure.

Si V est le volume du gaz à t^o, pression $H-h$ (h est la colonne de mercure soulevée, H la hauteur barométrique), et F, la tension maximum de la vapeur d'eau à t^o, le volume V_0 à 0° pression = 1 m. sera :

$$V_0 = V \frac{H - h - F}{1 + 0{,}00366 \times t}$$

On peut avec l'appareil de Bunsen effectuer toutes les absorptions par des réactifs spéciaux. Le savant chimiste engage les opérateurs à ne pas employer de réactifs liquides et à introduire dans l'eudiomètre une petite balle de l'absorbant solide : acide pyrogallique, potasse. L'opération est certainement plus longue, mais elle est aussi plus précise.

MM. Williamson et Russel (1) ont apporté à la méthode de Bunsen une modification qui permet de se dispenser de faire les corrections précédentes ; cette modification consiste essentiellement à faire toutes les mesures com—

(1) Proceedings of the R. Society, t. IX, p. 218.

parativement à une masse d'air restant invariable, et placée dans les mêmes conditions ambiantes que le gaz expérimenté.

V. — *L'air est un mélange.*

Les différentes méthodes analytiques que nous venons de passer en revue, en fixant avec une grande précision les proportions d'oxygène et d'azote qui constituent l'air, ont démontré l'erreur dans laquelle étaient tombés certains chimistes qui considéraient l'air comme une combinaison, erreur qu'expliquent les connaissances imparfaites que l'on avait au commencement de ce siècle sur la composition de l'air.

En effet, d'après la loi de Gay-Lussac, les gaz ne se combinent que dans un rapport de volumes simples. Or, les proportions d'oxygène et d'azote de l'air ne satisfont pas à cette loi. L'air est donc un mélange.

Les propriétés physiques de l'air viennent à l'appui de cette conclusion.

En effet, si l'air est un mélange,

1° La somme des densités que l'oxygène et l'azote doivent posséder dans l'air doit être égal à 1.

On a en effet,

$$\frac{20{,}93}{100} \times 1{,}10563 + \frac{79{,}07}{100} \times 0{,}972 = 0{,}9999687$$

nombre très voisin de 1.

2° La moyenne des indices de réfraction de l'oxygène et de l'azote déduite de la composition de l'air doit être égale à celui de l'air; elle s'en écarte peu.

Moyenne des indices de réfraction.

De l'oxygène et de l'azote déduites de la composition de l'air..	= 1,0004578
Indice de réfraction de l'air..............................	= 1,000294

3° Chacun des gaz doit se dissoudre dans l'eau comme s'il était seul, à la pression qu'il supporte.

A 13°, le coefficient de solubilité de l'oxygène est 0,03082; le volume d'oxygène ramené à la pression 760 mill. qui doit se dissoudre dans 1 litre d'eau doit être

$$\frac{20,93}{100} \times 0,03082 = 0,0645$$

celui de l'azote, dont le coefficient de solubilité à 13° est 0,01523,

$$\frac{79,07}{100} \times 0,01523 = 0,1203$$

La composition en centièmes du mélange des deux gaz est donc

Oxygène..............	34,90
Azote.................	65,10
	100,00

M. Bunsen a trouvé par l'expérience pour la composition de l'air dissout dans l'eau

Oxygène..............	34,73
Azote.................	65,27
	100,00

Si l'air était une combinaison, il se dissoudrait dans

l'eau d'après une loi spéciale, et sa composition ne se trouverait pas modifiée.

Du reste, dans toute combinaison il se produit un travail interne, gain ou perte de chaleur ; on n'observe rien de semblable quand on mélange 20,8 vol. d'oxygène et 79,2 vol. d'azote et cependant ce mélange est en tout semblable à l'air atmosphérique.

CHAPITRE III.

DE LA VAPEUR D'EAU DANS L'AIR.

L'eau à l'état de vapeur se rencontre d'une façon constante dans l'atmosphère. Son existence est attestée par un grand nombre de phénomènes. Le changement, par exposition à l'air, de la chaux vive en hydrate de chaux, la transformation en deliquium de la potasse et de la soude caustique, de l'acide phosphorique anhydre, et d'un grand nombre de substances, dites *déliquescentes*, sont autant de témoignages de la présence de l'humidité atmosphérique. Dans un autre ordre d'idée, la buée qui se produit sur les vitres des appartements pendant l'hiver ou sur les corps refroidis, le phénomène de la rosée, les nuages et les brouillards, la pluie et la neige sont dus à la vapeur d'eau que renferme l'air ambiant.

I. — *Mesure de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air.*

La proportion de vapeur d'eau contenue dans l'air peut s'exprimer, comme la proportion d'une substance gazeuse quelconque, par le poids de la vapeur d'eau rapporté au volume de l'air humide. On dira, par exemple, qu'un air donné contient $\frac{8}{1.000}$ d'humidité ou plus généralement $\frac{p}{V}$,

ce qui signifie que 1,000 litres d'air ou plus généralement un volume V contiennent 8 gr. d'humidité, ou plus généralement un poids p.

Au lieu de considérer ainsi *la quantité absolue* de vapeur d'eau, les physiciens ont trouvé avantageux de considérer une autre fonction de cette quantité. *Le rapport de la force élastique* f *de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la tension maximum* F *de l'eau à la même température*. Ce qu'il importe de connaître en effet, c'est ordinairement, non le poids de vapeur d'eau que renferme l'air, mais son humidité relative. Le rapport $\frac{f}{F}$ représente *l'état hygrométrique* et la *fraction de saturation* de l'air. C'est un nombre fractionnaire d'autant plus petit que l'atmosphère est plus sèche et d'autant plus rapproché de l'unité que l'atmosphère est plus humide.

Il est facile du reste de passer de l'état hygrométrique d'un volume V d'air au poids de l'eau qu'il contient et réciproquement : on sait en effet que les quantités p V et f sont liées par la relation.

$$p = V \frac{1{,}293 \times 0{,}622}{(1 + \alpha\, t)\, 760} f$$

dans laquelle t est la température et α le coefficient de dilatation de l'air.

De nombreux procédés peuvent être employés pour déterminer la quantité d'eau contenue dans l'air. Leur description forme un chapitre entier de physique, l'hygrométrie. Nous sortirions du cadre que nous nous sommes tracé en les étudiant en détail ; nous allons seulement indiquer en principe les méthodes les plus importantes.

I. *Méthodes chimiques.* — On peut déterminer le poids de l'eau contenue dans l'air par une véritable analyse chimique. On fait circuler avec lenteur l'air à analyser dans une série de tubes en U contenant une substance avide d'eau (du chlorure de calcium desséché ou de la pierre ponce imbibée d'acide sulfurique). Toute l'humidité est absorbée dans le passage. Les tubes sont pesés avant et après; leur augmentation de poids p représente le poids de la vapeur d'eau.

La circulation de l'air à travers les tubes desséchants est ordinairement déterminée par l'écoulement de l'eau contenue dans un gazomètre aspirateur.

Soient :

p. L'augmentation de poids des tubes desséchants.

V. Le volume d'eau écoulée.

H. La pression barométrique.

F. La tension maximum de l'eau à la température t.

t. La température de l'enceinte et celle du gazomètre.

α. Le coefficient de dilatation de l'air.

f. La force élastique de la vapeur d'eau atmosphérique.

La relation.

$$p = V \frac{H - F}{H - f} \times \frac{1,293 \times 0,622}{(1 + \alpha t)\,760} f$$

permet de calculer f et par suite $\frac{f}{F}$.

La méthode chimique est parfaite en principe ; les résultats qu'elle fournit, ne dépendant que de déterminations de poids et de volumes, peuvent atteindre une grande pré-

cision. Mais son emploi, qui oblige à une manipulation longue, a dû être abandonné pour les opérations courantes.

II. *Hygromètre à cheveu de de Saussure.* — Certaines matières d'origine animale, les cheveux par exemple, sont hygroscopiques, c'est-à-dire absorbent l'humidité atmosphérique; en même temps leur volume change. Les cheveux ne changent pas sensiblement de longueur par l'effet de la chaleur, mais ils s'allongent par l'effet de l'humidité. De Saussure imagina de les employer à mesurer le degré d'humidité de l'atmosphère et construisit le premier hygromètre.

Un cheveu bien dégraissé est fixé verticalement par son extrémité supérieure d'une façon invariable ; l'extrémité inférieure s'enroule sur une poulie et est terminée par un petit poids en laiton. La poulie porte une aiguille. Celle-ci se meut sur un cadran et accuse les moindres déplacements angulaires de la poulie. Comme cette dernière participe à tous les mouvements d'allongement ou de raccourcissement du cheveu, il est clair que les mouvements de l'aiguille sur le cadran indiqueront les variations de l'humidité atmosphérique.

La graduation de l'hygromètre à cheveu est incertaine. De Saussure pensa d'abord qu'il suffisait, l'appareil étant en observation sous une cloche, d'introduire successivement à côté de lui du carbonate de potasse desséché (corps avide d'humidité) et une assiette remplie d'eau, de marquer au point où l'aiguille se place en équilibre 0° dans le

premier cas, 100° dans le second, et de diviser l'intervalle du cadran compris entre ces deux points en cent divisions égales. Mais les indications de l'instrument ainsi gradué ne correspondent en rien à l'état hygrométrique réel; ce qui tient à ce que l'allongement du cheveu n'est point proportionnel aux degrés hygrométriques.

Gay-Lussac et Regnault cherchèrent ensuite à construire des *tables de correspondance* permettant de déduire des indications de l'hygromètre l'état hygrométrique vrai. La méthode employée par les deux savants est identique; elle consiste à placer l'hygromètre sous une cloche amenée à un état hygrométrique déterminé et à noter les indications de l'instrument en regard des degrés d'humidité exacts. Pour amener l'atmosphère de la cloche à des états hygrométriques déterminés, Gay-Lussac employait une série de dissolutions salines de diverses concentrations (on sait que la diminution de la force élastique d'une dissolution est sensiblement proportionnelle à la quantité de sel dissout (Wüllner); Regnault employait dans le même but de l'acide sulfurique à divers degrés de dissolution.

Même en observant ces précautions, M. Regnault a montré que les instruments construits avec des cheveux d'origine diverse ne sont point entièrement comparables. Il y a plus; le même hygromètre éprouve à la longue des modifications telles, que, replacé dans les mêmes conditions d'humidité, il ne reproduit pas les premières indications; en un mot il ne demeure pas absolument comparable avec lui-même.

L'hygromètre à cheveu est un excellent *hygroscope*, mais un hygromètre d'une exactitude douteuse.

III. *Hygromètres de condensation.* — Le principe des hygromètres de condensation est très ingénieux. Supposons de l'air à la température T contenant de la vapeur d'eau dont la force élastique f est inconnue. Refroidissons graduellement une petite portion de la masse ou ce qui revient au même un corps solide placé au milieu d'elle. Il ne se produira aucun phénomène apparent jusqu'au moment où la température devenue t, la force élastique maximum de la vapeur d'eau composante sera précisément f. A partir de ce moment le plus petit abaissement de température entraînera la condensation d'une portion de la vapeur d'eau dans la tranche d'air refroidie et sur le corps solide la précipitation de la rosée. Or, l'apparition de ce phénomène, *le point de rosée*, comme on l'appelle, est facile à constater avec exactitude ainsi que la température t à laquelle il se produit. La tension maximum de la vapeur d'eau qui correspond à cette température t, c'est-à dire f ; ainsi que la tension maximum F qui correspond à la température T, se trouvent dans les tables de Regnault. On peut donc calculer $\frac{f}{F}$ ou l'état hygrométrique.

Le premier emploi de cette méthode paraît dû à M. Leroy (de Montpellier), qui refroidissait dans l'air un vase plein d'eau en y jetant successivement de petits morceaux de glace et observait le moment où le dépôt de rosée commençait à se produire à sa surface.

De nombreux perfectionnements successifs ont été apportés à ce procédé par beaucoup de physiciens, principalement Daniell, Regnault, Alluard, Bourbouze, etc.

Actuellement le dépôt de la rosée s'effectue à la surface d'un tube métallique brillant (argent, or, palladium), ce qui permet d'apprécier le *point de rosée* avec une extrême délicatesse. Le tube métallique reçoit à son intérieur de l'éther et ce dernier traversé par un courant d'air produit à volonté le refroidissement que l'on suit avec un thermomètre sensible dont le réservoir est disposé de manière à donner exactement la température de la surface métallique polie.

Avec les dispositions actuelles les hygromètres de condensation donnent d'une manière rapide et précise toutes les indications nécessaires concernant l'humidité atmosphérique.

D'autres méthodes, notamment celles des psychromètres, ont été employées pour déterminer l'eau atmosphérique, mais leur emploi ne possède pas l'importance et la rigueur des procédés qui précèdent ; nous les passerons donc sous silence.

II. *Moyennes hygrométriques — Variations de l'humidité atmosphérique — Rôle de l'humidité atmosphérique dans la physique du globe, la météorologie, la physiologie végétale et animale, la pathologie.*

L'état hygrométrique en un lieu donné étant déterminé par l'une des méthodes précédentes, on constatera ordinairement que cette fonction varie dans l'intervalle d'une même journée. Elle diminue ordinairement à Paris jusque vers deux à trois heures du soir, où elle est

minimum, et augmente ensuite jusque trois à quatre heures du matin, où elle passe par un maximum.

La moyenne des observations faites pendant le même jour donnera l'état hygrométrique moyen de la journée. On établira semblablement les moyennes hygrométriques mensuelles et annuelles, facteurs importants des climats.

Voici les moyennes mensuelles observées à Halle (Saxe) (moyenne d'une longue période d'années).

Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
86	77	73	67	67	64	62	64	74	82	85	89

(Extrait de la *Chimie appliquée à la Physiologie,* de M. A. Gautier.)

Voici la moyenne mensuelle observée à l'Observatoire de Montsouris en l'année 1884-85.

Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Sept.
75,2	79,7	83,4	85,0	74,9	61,4	55,9	57,6	52,5	50,6	51,0	68,8

On voit d'une façon générale que c'est en novembre, décembre et janvier que l'air est le plus humecté et qu'il est le plus loin de son point de saturation en juillet et en août.

Les mers et les cours d'eau sont l'origine principale de la vapeur d'eau atmosphérique. Dans leur voisinage l'air est saturé d'humidité et jusqu'à une certaine distance dans l'intérieur des terres « *le vent marin* » entretient, quand il souffle, un état hygrométrique élevé. En pénétrant plus

avant dans les continents les courants aériens précipitent une partie de leur vapeur d'eau à l'état de pluie. L'intérieur des continents est donc d'une manière générale plus sec que le littoral. Cependant il s'en faut que l'air approche encore de la sécheresse absolue. Son état hygrométrique descend rarement dans nos climats au-dessous de 0,40.

Les points de notre continent les plus secs sont les lieux élevés où la froideur de l'atmosphère et le voisinage des glaces condensent presque totalement la vapeur d'eau atmosphérique. Les stations de phthisiques à Davos et dans la Haute-Engadine offrent, paraît-il, une sécheresse remarquable.

La présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est en relation avec un grand nombre de faits intéressant la physique du globe et la météorologie.

On sait que parmi les raies de Frauenhofer il en est un certain nombre qui, apparentes au lever et au coucher du jour, s'affaiblissent quand le soleil est élevé au-dessus de l'horizon. Elles s'éteignent presque complètement au sommet des montagnes. Brewster a rattaché leur présence à l'absorption de la lumière par les gaz ou vapeurs de l'atmosphère et les a nommées pour cette raison « *raies atmosphériques*. » Quelles sont celles de ces raies qui doivent être attribuées à la vapeur d'eau? C'est le problème qu'étudient de savants physiciens, entre autres MM. Janssen et Cornu. Le spectre d'absorption de la vapeur d'eau n'est point encore parfaitement connu.

L'absorption de la chaleur rayonnante par la vapeur d'eau est extrêmement importante et a été mise en lumière par les expériences de divers physiciens, en particulier de Tyndall et du regretté P. Desains. La vapeur d'eau absorbe avec énergie les rayons obscurs et les rayons les moins réfrangibles du spectre calorifique et transmet au contraire presque intégralement les rayons les plus réfrangibles. Ainsi l'atmosphère analyse pour ainsi dire la chaleur du soleil, en retient une partie et nous transmet le reste altéré en quantité et en qualité. Les sommets des hautes montagnes, bien que l'air y soit beaucoup plus froid que dans la plaine, reçoivent une chaleur beaucoup plus forte, comme le témoignent les insolations des ascensionnistes. Il est vrai que la déperdition par rayonnement est également beaucoup plus considérable et que l'atmosphère humide des plaines qui amortit les rayons du soleil s'oppose d'une façon encore plus efficace au refroidissement excessif par le rayonnement nocturne.

Rappelons encore le rôle important que joue l'humidité atmosphérique dans la production des phénomènes météorologiques, la rosée et les gelées blanches, les brouillards et les nuages, la pluie, la grêle et la neige qui ne sont que des cas particuliers de la condensation de cette vapeur ; et les courants aériens qui se sont saturés d'humidité à la surface des océans et précipitent leur eau sur les sommets élevés des continents en produisant les glaciers et les fleuves, circulation grandiose de matière et d'énergie.

Les faits de cet ordre constituent un chapitre entier de météorologie.

Le rôle de l'humidité atmosphérique en physiologie végétale est assez peu connu. Les végétaux, on le sait, pompent par leurs racines l'humidité du sol et l'exhalent en vapeur par la surface de leurs feuilles. L'état hygrométrique de l'air joue son rôle dans la transpiration aqueuse des végétaux et sans doute aussi dans l'ascension de la sève.

On ne connaît pas non plus d'une façon bien approfondie le rôle de l'humidité atmosphérique dans la physiologie et la pathologie humaine.

Le degré d'humidité de l'atmosphère ambiante est en rapport direct avec une fonction importante de notre organisme. L'exhalation aqueuse par voie pulmonaire et cutanée, acte en vertu duquel nos humeurs tendent à abandonner de la vapeur d'eau à l'atmosphère à travers nos tissus.

Les ménagères savent fort bien qu'une lessive sèche très vite dans un air sec et pas du tout quand l'air est humide. De même la transpiration aqueuse, active dans une atmosphère sèche, est réduite à un minimum dans une atmosphère saturée d'humidité. Il n'est pas interdit de penser que l'activité variable de cette fonction entraîne des variations correspondantes dans la proportion d'eau de nos tissus et la concentration de nos humeurs et modifie la condition de la vie de nos éléments anatomiques.

Sans doute les différences de cet ordre influent sur la formation des races et l'acclimatation des individus. Les médecins qui traitent les phthisiques font jouer à la sécheresse extraordinaire de l'atmosphère dans un lieu élevé un rôle prépondérant dans la curation des lésions pulmonaires et se guident constamment sur les indications de l'hygromètre dans les exercices à prescrire à leurs malades. Réciproquement le passage d'un pays naturellement sec à un climat humide doit avoir une action déprimante sur l'organisme. L'état de langueur et de maladie qui affecte beaucoup de membres de la colonie étrangère à Lille où l'atmosphère est remarquablement humide n'aurait-il pas pour cause principale la rupture d'équilibre apportée par le climat aux fonctions de la peau ?

L'exhalation de l'eau par les poumons, par la peau et par les reins sont trois actes d'une même fonction qui paraissent être appelés à se suppléer mutuellement. Nous avons dit que les deux premiers sont en rapport avec l'état hygrométrique. Or la suppression totale ou partielle de la transpiration cutanée, la diminution de la respiration aqueuse doivent retentir sur le rein et, en imprimant à son fonctionnement une activité anormale, contribuer au développement des maladies de cet organe. On connaît les expériences de Semnola, qui produit artificiellement la maladie de Bright sur les animaux en supprimant la transpiration cutanée par l'application sur les corps d'un vernis imperméable.

Les médecins reconnaissent dans l'habitation d'une

atmosphère habituellement saturée d'humidité l'une des principales causes des maladies des reins.

Enfin, la vapeur d'eau atmosphérique est encore en relation indirecte avec une autre cause de nos maladies. C'est un fait d'observation qu'à l'approche des pluies l'air acquiert une transparence beaucoup plus grande et les objets paraissent rapprochés. Ce phénomène est sans doute lié à la précipitation des poussières atmosphériques. Ces corps légers et hygroscopiques, mis en suspension dans l'air à la faveur de la sécheresse, absorbent l'humidité et augmentent de poids quand l'air se rapproche de son point de saturation. Ils cessent alors de pouvoir flotter dans l'atmosphère. L'état hygrométrique de l'atmosphère serait donc en rapport avec la proportion de poussières qui y sont contenues. Reste à savoir la relation que présentent ces derniers avec les maladies en général et les épidémies.

CHAPITRE IV

DE L'ACIDE CARBONIQUE CONTENU DANS L'ATMOSPHÈRE.

L'acide carbonique existe daus l'atmosphère en quantité relativement minime, mais sa présence est d'une grande importance au point de vue de la physiologie et de l'hygiène.

Déjà à la fin du siècle dernier Priestley (1) parle dans ses « Expériences et observations sur différentes espèces d'air » d'un certain *air fixe* produit dans la fermentation et la respiration des animaux, lequel éteint une bougie allumée, fait mourir une souris qui le respire et qui n'est autre que l'acide carbonique.

Il consacre même un chapitre à « l'air infesté par la respiration des animaux et la putréfaction. »

Cet air fixe troublait l'eau de chaux et aujourd'hui encore, c'est par la pellicule blanche de carbonate de chaux formée à la surface d'une dissolution limpide d'eau de chaux, qu'on montre dans les cours la présence de l'acide carbonique atmosphérique.

Différentes méthodes de dosage de l'acide carbonique dans l'air.

Th. de Saussure (2) a publié en 1827 un procédé de

(1) Priestley. Expériences et observations sur différentes espèces d'air, traduction Gibelin, 1777.

(2) Dosage de l'acide carbonique dans l'air. Ann. de chim. et phys., t. II et XXXVIII.

dosage de l'acide carbonique qui est en somme celui que Thénard (1) indique dans son traité de chimie.

De Saussure emploie un grand ballon de 14 litres dans lequel il introduit de l'eau de baryte ; après avoir agité de manière à absorber tout l'acide carbonique contenu dans le ballon, il y fait le vide et y introduit ensuite une nouvelle quantité d'air, qui est dépouillée à son tour d'acide carbonique. Ces opérations sont continuées un certain nombre de fois.

Alors de Saussure traite le carbonate de baryte formé par l'acide sulfurique qui le change en sulfate de baryte ; c'est ce précipité qu'il recueille, lave et pèse. Son poids donne par un calcul d'équivalents le poids de l'acide carbonique.

De Saussure trouve ainsi pour chiffre maximum 5,74 vol. et pour minimum 3,15 vol. d'acide carbonique dans 10000 vol. d'air.

Brünner (2) imagina de faire passer une grande quantité d'air sur la substance absorbante ; il employait de la chaux éteinte un peu humectée d'eau dont il plaçait un poids connu dans un tube en verre. Le courant d'air était déterminé par un aspirateur ; il passait avant d'arriver sur la chaux à travers un tube rempli de ponce sulfurique qui arrêtait la vapeur d'eau ; un second tube à ponce sulfurique venait après le tube à chaux et servait à retenir l'eau que le courant pouvait enlever à cette dernière.

(1) Traité de chimie, 5e édit., t. I.

(2) Procédés pour l'analyse de l'atmosphère. Ann. de chim. et phys., t. III.

L'acide carbonique formait du carbonate; son poids était donné par l'augmentation de poids du tube à chaux. Quant au volume de l'air expérimenté, il était donné par le volume de l'eau écoulée de l'aspirateur.

Cette méthode est le point de départ du procédé classique si exact que M. Boussingault (1) a donné plus tard :

Le courant d'air produit par un aspirateur passe d'abord dans des tubes à ponce sulfurique où il se dessèche ; de là il passe dans deux tubes en U contenant de la pierre ponce imbibée d'une solution de potasse caustique et enfin dans un tube à ponce sulfurique qui arrête l'eau enlevée par l'air à la solution de potasse. Ces trois derniers tubes ont été préalablement tarés ; leur augmentation de poids donne le poids de l'acide carbonique fixé. Si maintenant on connaît le poids de 1 cm. d'acide carbonique sec à 0° pression 760 mill., on pourra en déduire le volume d'acide carbonique contenu dans l'air expérimenté.

L'aspirateur est muni d'un thermomètre qui donne la température t de l'air qui l'a rempli. Soit V le volume de l'eau écoulée de l'aspirateur ; H la pression atmosphérique, f la tension maximum de la vapeur d'eau à t°, nous aurons pour la valeur V_0 du volume correspondant d'air sec à 0° et 760 millimètres.

$$V_0 = \frac{V (H - f}{760 (1 + 0,003677)}$$

Le volume total de l'air expérimenté est donc V_0 plus le volume trouvé d'acide carbonique dans les mêmes conditions de température et de pression.

(1) Annales de chim. et phys., t. X, p. 470.

M. Boussingault a fait de nombreuses expériences, surtout à propos de ses recherches sur l'air de Paris. Il trouve toujours une proportion presque constante d'acide carbonique; il y en a pourtant une plus grande quantité la nuit que le jour et plus à la ville qu'à la campagne.

Voici les résultats comparatifs qu'il donne pour des recherches faites à Paris et à Andilly (campagne) avec M. Lévy (1).

	Volume d'air à 0 et 760	CO^2 En poids	En volume	CO^2 P^r 10000 vol. d'air
	—	—	—	—
	lit.	gr.	cc.	
Paris....	1338,1216	0,845	426,8	3,19
Andilly..	1346,7638	0,797	402,5	2,99

M. Isidore Pierre a modifié avantageusement l'aspirateur de M. Boussingault. Son appareil est double et peut se retourner, de sorte que le vase qui recevait tout à l'heure l'eau se vide maintenant et sert à son tour d'aspirateur. En retournant ainsi plusieurs fois l'appareil, on peut faire passer une grande quantité d'air dans le système de tubes.

Nous devons citer ici un procédé de dosage donné par Cl. Winkler (1) et que nous pourrions appeler une méthode eudiométrique. Elle se rapproche, en effet, des procédés de Bunsen, de Regnault et de Doyère que nous avons décrits à propos du dosage de l'oxygène. Un volume connu d'air enfermé dans un tube est traité par la potasse caustique; il y a diminution de volume qui mesure la quantité

(1) Annales de chim. et phys., t. X.

(1) Divigl. pol. J. 281, p. 385.

d'acide carbonique absorbée. Nous ne voulons pas entrer dans les détails de l'appareil et de l'opération qui sont nombreux.

Pettenkoffer (2) a décrit une méthode qui est pour ainsi dire la base de tous les procédés de titrage de l'acide carbonique par les liqueurs titrées.

L'air à analyser est introduit dans un flacon d'environ 6 litres. La capacité de ce flacon est ainsi déterminée : on pèse le vase d'abord vide et sec, et on le pèse ensuite rempli d'eau.

Au moyen d'un soufflet on introduit dans le flacon soigneusement vidé et séché l'air que l'on veut expérimenter. Un tube qui plonge jusqu'au fond du vase amène l'air et on a soin d'insuffler cinq à six fois le volume nécessaire pour remplir le ballon. Alors on fait tomber au moyen d'une pipette de 50 cc. une solution titrée de baryte. On bouche le vase par un bouchon en caoutchouc, on note la température et la pression et on agite.

Au bout de 1/2 heure environ, tout l'acide carbonique est absorbé. On vide dans un petit flacon sec la liqueur barytique (autant que possible le flacon doit être à peu près rempli) et on bouche. On laisse déposer le carbonate de baryte. — Alors on prélève 20 cc. de la liqueur claire et on titre avec une solution normale au $\frac{1}{10}$ d'acide oxalique. La différence de titres indique la quantité d'acide carbonique qui a neutralisé la baryte. Une solution de 2 gr. 8636 d'acide oxalique dans 1000 cc. est telle que

(2) Ann. chem. pharm. suppl. 2, p. 1. Journ. für prakt chem., t. LXXXII.

1 cc. de cette solution corresponde à 0 gr. 001 d'acide carbonique. Il est alors nécessaire de faire les corrections dues à la température et à la pression, et de diminuer du volume V de l'air (capacité du ballon) les 50 cc. de solution barytique ajoutée.

Pour des expériences plus longues, Pettenkoffer emploie la méthode suivante : il fait passer l'air, au moyen d'un aspirateur, bulle à bulle, dans une série de longs tubes contenant la liqueur barytique. — Cette méthode est excellente pour l'analyse de l'air des endroits pen accessibles ; l'air en est aspiré dans la série de tubes que nous venons de décrire.

Nous avons voulu donner en détail ce procédé de Pettenkoffer ; nous nous étendrons beaucoup moins sur les modifications qui y ont été apportées.

Hesse (1) n'attend pas la précipitation complète du carbonate de baryte· Il emploie des petits flacons qu'il remplit d'abord d'eau et qu'il vide ensuite au lieu même de l'expérience. De cette façon le flacon se remplit, par déplacement, de l'air à essayer. Alors il y fait tomber, au moyen d'une pipette de 10 cc., de l'eau de baryte titrée et colorée par de l'acide rosolique. Il ferme le flacon, agite et titre enfin avec la solution d'acide oxalique jusqu'à ce que la décoloration complète indique la fin de la neutralisation.

Le défaut de cette méthode c'est qu'on opère, en somme, sur de trop petits volumes.

(1) Vierteljarhresschr. f. gericht. Medicin und offent. sanitatswesen N. F. 31, p. 32.

M. J. Reiset (2), dont les travaux faits avec M. Regnault nous ont donné la véritable composition de l'air, a décrit une méthode de dosage de l'acide carbonique, très précise, et dont les résultats sont les plus exacts qui aient été donnés jusqu'ici.

Reiset a fait ses expériences dans les environs de Dieppe; il se sert d'un aspirateur d'une contenance de 600 litres. L'air se dessèche d'abord sur de la ponce sulfurique, puis il vient barbotter à travers une solution de baryte fort ingénieusement disposée dans un tube vertical entre des plaques de platine percées de nombreux trous. L'eau, que le courant d'air sec peut entraîner, est retenue dans un second tube à ponce sulfurique. Reiset opère sur 300 cc. d'eau titrée de baryte: il fait un second titrage comme dans la méthode de Pettenkoffer, en tenant compte de l'eau évaporée et retenue par le second tube à ponce sulfurique. On ramène le volume de l'air à 0°, à 760 et à l'état sec.

Les résultats trouvés ont été pour une moyenne de 91 expériences, en juin 1879, de 2,978 vol. d'acide carbonique dans 10,000 vol. d'air. — En 1872 73, Reiset avait trouvé une proportion de 2,842 vol. pour 10,000.

M. Marié Davy (1) et ses collaborateurs emploient, à l'observatoire de Montsouris, un procédé peut-être un peu moins exact que celui de Reiset, mais rapide et excellent pour des déterminations journalières.

(1) Comptes rendus de l'Ac. des sciences, 88, p. 1007, et 90, p. 1457-1144.

(1) Annuaire de Montsouris, 1877, p, 393, et 1885, Comptes rendus, 90, p. 1287.

L'acide carbonique est dosé directement en volume dans les conditions mêmes de température et de pression de l'air extérieur.

L'air aspiré par une trompe et mesuré par un compteur passe dans une série de 4 flacons barbotteurs contenant une dissolution de potasse colorée avec quelques gouttes de teinture de tournesol; et, pour faciliter l'absorption, l'air arrive par une sorte de tête d'arrosoir en platine percée de trous. Le dernier flacon, qui est un barbotteur témoin, ne doit plus retenir d'acide carbonique. On fait passer un volume connu d'air; puis, au moyen d'une solution d'acide chlorhydrique contenue dans une burette, on fait dégager, successivement pour chaque barbotteur, l'acide carbonique que la potasse a absorbé et transformé en carbonate. Le gaz se rend à la partie supérieure d'une sorte d'éprouvette-gazomètre remplie d'eau. Là, il fait pression et déplace une certaine quantité d'eau qui s'en va, par une tubulure inférieure, au moyen d'un tube recourbé, dans une éprouvette graduée. Il est clair que le volume d'eau écoulée dans cette éprouvette est le volume de l'acide carbonique mis en liberté. D'ailleurs on peut, en faisant tourner le tube recourbé, ramener son extrémité libre au niveau de l'eau dans le gazomètre. On mesure donc le gaz dans les mêmes conditions que l'air extérieur. L'opération est répétée sur chaque barbotteur, et on fait la somme. Le dernier flacon ne contient jamais d'acide carbonique; le volume d'acide qui se dégage quand on soumet la liqueur de ce quatrième verre à l'analyse est précisément celui que contenait la dissolution

versée dans les barbotteurs avant l'opération ; on doit en tenir compte dans les résultats.

Les observateurs de Montsouris trouvent des différences journalières dans les quantités d'acide carbonique atmosphérique.

Nous interpréterons plus bas les résultats trouvés à l'observatoire de Montsouris et ceux qu'ont donnés les méthodes précédemment décrites.

Citons, en terminant, le procédé de MM. Muntz et Aubin (1), qui se rapproche beaucoup de la méthode Marié Davy et A. Lévy :

L'acide carbonique fixé par la potasse est mis en liberté par de l'acide sulfurique. On le mesure sous une cloche graduée.

Sources de l'acide carbonique atmosphérique. Constance de la proportion d'acide carbonique dans l'air.

I. Les origines de l'acide carbonique atmosphérique sont multiples.

La combustion du charbon et des substances hydrocarbonées est une énorme source d'acide carbonique. Cette quantité doit être encore augmentée de tout l'acide carbonique qui provient du sein de la terre, qu'il soit le résultat des combustions lentes qui s'y accomplissent, ou qu'il soit lancé dans l'atmosphère par la bouche des volcans, les fissures terrestres ou les sources gazeuses.

L'air que l'on puise à une certaine profondeur au des-

sous de la surface du sol est très riche en acide carbonique lorsque celui-ci contient des matières organiques. Ainsi, dans les cimetières, à 40 cent. de profondeur, on trouve 4 à 5 pour 100 de ce gaz, cette proportion atteint 10 à 12 pour 100 à 1 mètre de profondeur (Schutzenberger, *Chimie générale*). Et il est à remarquer que la dose d'oxygène est complémentaire de celle de l'acide carbonique et que pour chaque volume d'acide formé, il disparaît un volume d'oxygène. Ce fait établit que la présence de l'acide carbonique doit être surtout attribuée à des combustions lentes. Les émanations souterraines, volcaniques et autres, ne sont que des sources localisées.

Les êtres vivants sont également une abondante source d'acide carbonique. L'homme exhale par jour environ 445 litres de ce gaz, suivant MM. Andral et Gavarret.

La fermentation, la putréfaction, la respiration des plantes (j'entends la respiration vraie, opposée à la fonction chlorophyllienne) ne sont en somme que des phénomènes concomitants de la vie d'êtres à différents degrés de l'échelle d'organisation et contribuent pour une forte part à enrichir notre atmosphère d'acide carbonique.

M. A. Gautier (*Chimie appliquée à la physiologie, à la pathologie et à l'hygiène*) n'estime pas à moins de 2,500 milliards de mètres cubes le volume d'acide carbonique rejeté annuellement dans l'air.

II. Chose très remarquable ! avec des facteurs aussi variables, les *variations* de l'acide carbonique atmosphérique sont extrêmement faibles.

La variation de la proportion de ce gaz dans l'atmo-

sphère peut être envisagée à deux points de vue différents.

1° Variations accidentelles, locales, temporaires.

2° Variations à longue échéance, intéressant la moyenne générale de l'acide carbonique atmosphérique ou la masse totale de ce gaz.

1° *Variations accidentelles.* — Il est remarquable que les variations de cet ordre ne soient pas plus fréquentes et plus importantes.

Th. de Saussure, qui, le premier, je pense, institua des recherches suivies sur l'acide carbonique atmosphérique a trouvé :

Comme	maximum	5,74	vol.	de CO^2	pour 10000	vol.	d'air.
—	minimum	3,15	—	—	—	—	—
—	moyenne	4,1	—	—	—	—	—

Verver (1) pour une moyenne de quatre-vingt-dix observations trouve 4,18. Lewy (2), à la Nouvelle-Grenade, 4,01 (moyenne pour 1847 et 1848).

Gilm, à Inspruck, trouve de 3,8 à 4,6.

D'après ces recherches, toutes déjà un peu anciennes, 10,000 vol. d'air contiendraient en moyenne 4,1 vol. d'acide carbonique ou en poids 6,2 parties.

D'après des recherches récentes, et avec les méthodes perfectionnées que nous avons décrites, ces évaluations seraient trop élevées.

(1) Berzelius Jahres bericht, 22, p. 45.
(2) Comptes rendus, 31, p. 725 et 33, p. 345.

Reiset, près de Dieppe, trouve dans deux séries de recherches 2,978 vol. et 2,842 vol. dans 10,000 vol. d'air.

Armstrong (1), dans le Westmorland, trouve de 2,9603 à 3,399 vol.

MM. Muntz et Aubin ont mesuré comparativement l'acide carbonique atmosphérique à Paris (plateau de Gravelle) et au Pic du Midi (2877 m., Pyrénées). Ils ont trouvé dans le premier cas 2,85 et dans le second 2,86.

Une expérience semblable a été faite par MM. Boussingault et Lewy à Paris et à la campagne (Andilly). Ils ont trouvé respectivement 3,19 vol. et 2,99 vol.

Roscoe et Mac Dougall ont trouvé qu'à Manchester la dose d'acide carbonique, dans l'air, ne diffère pas sensiblement de celle de l'air dans les campagnes environnantes : 3,85 vol. à la campagne; 3,90 à Manchester; la plus forte moyenne a été observée par un fort brouillard (5,85).

M. Truchot est arrivé à des résultats analogues à ceux de MM. Roscoe et Boussingault. Dans ses expériences faites à Clermont-Ferrand, il a reconnu que la proportion diminue avec l'altitude :

A Clermont-Ferrand (396m)........................ $\frac{3,15}{10000}$ de CO^2

Au sommet du Puy-de-Dôme (1446)................. $\frac{2,03}{10000}$ —

Au sommet du Pic de Sancy (1884m)................ $\frac{1,72}{10000}$ —

De Saussure avait observé une légère augmentation d'acide carbonique pendant la nuit. Ce résultat a été con-

(1) Proc. of the royal. Society, 30, p. 345.

firmé par Reiset qui a trouvé pour moyenne de la nuit 3,084 et pour celle du jour 2,891.

Les journées nuageuses paraissent plus riches en acide carbonique (moyenne, 3,166).

La proportion d'acide carbonique varie, nous le voyons, dans de bien faibles limites sous les différentes causes; mais elle varie.

M. Mène (1) dans une longue série de dosages a trouvé que, en décembre et janvier, la proportion reste constante; elle augmente en février, mars, avril et mai; diminue de juin à août; augmente de septembre à novembre, en atteignant un maximum en octobre. Pendant la nuit, elle est plus forte que le jour; elle est également plus marquée après une pluie qu'avant; ce dernier résultat est en désaccord avec ceux de M. Boussingault.

Enfin depuis déjà plusieurs années M. A. Lévy avait conclu de ses nombreuses expériences à Montsouris, que la quantité d'acide carbonique contenu dans l'atmosphère varie d'une manière sensible d'une année à l'autre, et même d'un jour au jour suivant. Cependant les moyennes mensuelles correspondant à plusieurs années d'analyses fournissent des résultats presque identiques.

Ces conclusions longtemps contestées sont aujourd'hui admises.

Nous empruntons à l'annuaire de Montsouris (1886) le tableau suivant, donnant les volumes en litres, d'acide carbonique renfermé dans 100 mètres cubes d'air.

Ainsi la moyenne de toutes ces analyses dont le nom-

(1) Répert. de Chim. appliquée, t. IV, p. 475, et V, p. 332.

bre s'élève à plus de trois mille, est de 29 lit. 7 d'acide carbonique pour 100me d'air.

	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	Moy.
Janvier....	28.0	33.3	35.6	26.5	29.7	28.6	31.7	31.2	29.1	30.4
Février....	28.2	33.5	35.5	27.7	27.6	29.0	26.9	29.6	29.0	29.7
Mars......	27.6	32.2	35.7	27.0	26.7	30.0	26.8	31.2	28.9	29.6
Avril......	27.0	33.1	35.8	24.3	28.6	31.1	27.3	30.2	30.6	29.8
Mai.......	27.8	35 9	35.6	25.4	26.9	28.5	27.7	30.9	30.2	29.9
Juin.......	27.9	35.1	35.6	28.4	27.6	29.5	28.7	30.2	29.8	30.3
Juillet......	27.7	35.2	34.6	27.7	26.9	28.7	29.5	29.9	28.5	29.9
Août.......	26.7	35.0	33.2	26.1	28.4	28.3	28.6	30.6	28.6	29.5
Septembre.	28.0	34.7	33.0	26.1	27.6	29.3	28.9	30.1	»	29.7
Octobre....	26.8	35.3	30.4	27.1	27.1	26.6	30.9	27.8	»	29.0
Novembre..	30.8	35.4	25 5	28.3	26.6	25.8	30.1	27.2	»	28.7
Décembre..	34.4	35.5	24.5	29 2	28.1	27.4	29.9	25.9	»	29.4
Moyenne.	28.4	34.5	32.9	27.0	27.7	28.6	29.0	29.6	29.3	29.7

Nous avons dit plus haut que des expériences vont être faites dans l'annexe Lobau comparativement avec celles de Montsouris. Déjà la quantité d'acide carbonique trouvée dans l'air de la place François-Miron, derrière l'Hôtel-de-Ville est notablement supérieure à celle du parc.

De nombreuses expériences ont été faites dans un autre sens par Thorpe (1) qui voulait doser l'acide carbonique à la surface des mers. La moyenne des observations qu'il a faites sur l'Océan Atlantique est d'environ $\frac{3}{10.000}$; dans la mer d'Irlande il trouve $\frac{3,08}{10.000}$; les variations sont moins sensibles que sur la terre et, chose remarquable, l'air serait plus riche en acide carbonique le jour que la

(1) Chem. News, t. XII, 277.

nuit. Tharpe trouve pour la nuit $\frac{2,99}{10.000}$ et le jour $\frac{3,01}{10.000}$. Lévy avait trouvé déjà $\frac{3,9}{10.000}$ et $\frac{4,2}{10.000}$. Krüger n'a pas trouvé d'acide carbonique dans l'air au-dessus de la Baltique.

2° *Variations à longue période.* — L'examen des moyennes trouvées primitivement et aujourd'hui semblerait accuser une diminution d'acide carbonique atmosphérique. Mais l'examen approfondi montre que cette différence doit tenir aux méthodes analytiques employées Elles sont actuellement des plus précises, et pourront servir à nos successeurs à résoudre la question de savoir s'il y a accroissement ou diminution séculaire de la proportion d'acide carbonique de notre planète. Mais aujourd'hui, les documents manquent, et nous devons reléguer au rang des hypothèses pures la théorie qui assigne à l'atmosphère terrestre, à certaines époques éloignées, une grande richesse en gaz carbonique et met le fait en relation avec la faune et la flore de ces époques géologiques.

Ce qui est certain, c'est que, s'il n'existait pas à la surface du globe des causes d'absorption de l'acide carbonique, la masse totale en augmenterait d'une façon rapide. Poghendorff estime qu'il suffirait de 86 années pour doubler la proportion actuelle.

Mais plusieurs causes viennent contrebalancer l'émission de l'acide carbonique dans l'air.

C'est d'abord la *fonction chlorophyllienne.*

On sait que les végétaux phanérogames et certains organismes inférieurs, à côté de la respiration propre-

ment dite qui s'effectue d'une manière continue, possèdent une fonction intermittente qui naît et cesse avec la lumière. La chlorophylle qu'ils contiennent emprunte l'acide carbonique de l'air et restitue de l'oxygène, opérant ainsi un acte chimique inverse de la respiration des animaux, L'antagonisme entre la vie animale et la vie végétale, la circulation du carbone entre les deux règnes, et les conséquences qui en résultent au point de vue de l'équilibre entre les éléments de notre atmosphère ont été étudiés longuement par les naturalistes et chimistes du commencement de ce siècle, et développés avec éloquence à la Faculté de médecine de Paris par J.-B. Dumas.

Cette cause allongerait singulièrement les périodes de variations de l'acide carbonique. La cause suivante annulerait toute variation durable.

M. Schlœsing (1), en analysant à plusieurs reprises les eaux de la Manche, a comparé la proportion d'acide carbonique libre et celle des bases à l'état de carbonates qui y sont contenues. Il a trouvé que ces dernières sont en majeure partie engagées à l'état de bicarbonates.

Or, il a démontré que l'eau pure, mise en contact avec un carbonate terreux et une atmosphère d'acide carbonique se charge d'une quantité d'acide carbonique qui croît suivant une loi mathématique, avec la tension que possède l'acide carbonique dans cette atmosphère En d'autres termes, il s'établit un équilibre entre l'atmosphère d'acide carbonique et la proportion de ce gaz qui se dissout à l'état de bicarbonate.

(1) Comptes rendus, 90, p. 1410.

« Un état semblable tend à se produire dans l'eau de la mer qui depuis des milliers de siècles est en contact incessant avec l'atmosphère et les carbonates terreux de son fond, de ses bords et des apports des fleuves. Il ne peut être réalisé d'une manière absolue; l'équilibre parfait n'est pas compatible avec le mouvement, pas plus dans les mers que dans l'atmosphère; des échanges continuels doivent donc se produire entre ces deux milieux : quand arrivent des variations du taux d'acide carbonique dans l'air, la tendance à l'équilibre que je viens de rappeler provoque soit un dégagement d'acide carbonique des eaux et une précipitation de carbonate neutre, si la variation est *en moins*, soit une absorption d'acide carbonique par la mer et une dissolution des carbonates si la variation est *en plus*. »

Dans ce jeu continuel, la mer exerce sur le taux d'acide carbonique aérien une action régulatrice ; elle contient en effet ainsi en réserve (à l'état de bicarbonates), d'après les calculs de M. Schlœsing, une quantité d'acide carbonique beaucoup plus grande que celle qui représente les variations atmosphériques.

On voit donc que, d'après cette théorie, la constance de l'acide carbonique de l'air serait la conséquence de la dissociation des bicarbonates terreux de l'eau des mers ; elle serait en rapport avec un fait géologique très important : le transport du carbonate de chaux dissous, et sa précipitation à l'état de calcaire.

De l'air confiné.

A la suite de cette étude sur l'acide carbonique atmosphérique, je dois dire quelques mots sur cette importante question de l'air confiné, qui forme à elle seule tout un chapitre de l'hygiène. Les propriétés délétères de l'air confiné sont dues en partie à l'acide carbonique; mais il n'est pas le seul produit nuisible qu'on y rencontre. Avec lui agissent la vapeur d'eau et les produits exhalés par la respiration et la transpiration cutanée. La nature de ces émanations est complexe; ce sont des gaz organiques et inorganiques très divers, des matières organiques putrescibles, des germes qui flottent dans l'air. Leur présence est suffisamment démontrée par l'odeur désagréable qu'on remarque chaque fois qu'un grand nombre de personnes sont réunies dans un espace clos.

Les appareils de chauffage et d'éclairage déversent aussi dans l'air de nos habitations, outre l'acide carbonique et la vapeur d'eau, plusieurs produits nuisibles, entre autres de l'oxyde de carbone et des carbures d'hydrogène.

Il résulte d'expériences faites par MM. Andral et Gavarret, qu'un homme brûle environ 12 grammes de charbon par heure et exhale, par conséquent, 44 grammes, soit 22 litres d'acide carbonique. L'air expiré renferme envirou 4 $^0/_0$ de ce gaz; si donc un homme respirait dans un espace clos ayant 3^m de longueur, 2^m,7 de hauteur et 2^m,7 de largeur, l'air confiné dans cet espace offrirait au

bout de vingt-quatre heures la composition de l'air expiré. A l'acide carbonique produit ainsi par la respiration, vient s'ajouter celui produit par l'éclairage; il a été calculé que 10 grammes de bougie consommaient, en brûlant, 20 litres d'oxygène et produisaient 14 litres d'acide carbonique. Un bec de gaz consomme 234 litres d'oxygène par heure et produit 128 litres d'acide carbonique. Presque toutes les analyses qui ont été faites des atmosphères confinées ont porté principalement sur les quantités respectives d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique.

Voici quelques résultats donnés par F. Le Blanc (1) dans un travail sur l'air confiné, et que j'emprunte à la chimie de M. A. Gautier.

	Atmosphère de salles ventilées				
	I	II	III	IV	V
CO^2....	1.3	0.4	0.8	2.3	4.3
O......	209.8	229.4	229.1	»	»
Az.....	789.0	770.2	770.1	»	»
	1000.0	1000.0	1000.0		

I. Cellules de Mazas ventilées à raison de 4 mèt. cub. à l'heure.
II. Chambre à coucher ventilée; fin de la nuit.
III. Salle d'hôpital ventilée; fin de la nuit.
IV. Salle de spectacle, parterre; fin de la représentation.
V. Même salle, même moment; plafond.

	Atmosphère de salles mal ventilées					
	I	II	III	IV	V	VI
CO^2......	4.7	12.0	7.0	5.6	4.4	2.2

(1) Ann. Chim. et Physique (3), t. V, p. 223.

I. École primaire, ventilation imparfaite.

II, III, IV, V. Chambre de caserne cubant 128^{mc} et contenant 21 hommes.

VI. Chambre de caserne cubant 128^{m3}, ventilation de 120^{mc} par heure.

Atmosphère de salles fermées, non ventilées

	I	II	III	IV	V	VI	VII
CO^2.....	5.8	8.0	10.3	8.7	4.7	10.5	21.0
O......	226.0	225.2	219.6	»	»	222.0	180.0
Az.....	768.2	766.8	770.1	»	»	767.5	799.0
	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

I. Salle d'hôpital fermée et encombrée.

II. Ibid. ibid.

III. Amphithéâtre de la Sorbonne, non ventilé, après le séjour de 900 personnes pendant une heure et demie.

IV. Salle d'école primaire bien close, ventilation nulle.

V. Même salle, ventilation imparfaite.

VI Écurie fermée; air recueilli à la fin de la nuit.

VII. Écurie dss Alpes durant l'hiver, calfeutrée, habitée par des hommes et des animaux.

L'acide carbonique n'agit pas comme un gaz inerte, c'est un poison, mais son action toxique ne semble pas être spécifique ; elle paraît plutôt provenir de l'impossibilité où se trouve l'organisme d'opérer l'échange des gaz du sang avec ceux de l'atmosphère, dès que le rapport entre l'acide carbonique et l'oxygène que contient cette atmosphère dépasse une certaine limite.

MM. Regnault et Reiset ont montré qu'un excès d'oxygène peut, en effet, contrebalancer l'action toxique de l'acide carbonique; des chiens et des lapins peuvent vivre dans une atmosphère formée de 30 à 40 °/₀ d'oxygène, 47 à 37 °/₀ d'azote et 25 °/₀ d'acide carbonique.

En résumé, l'acide carbonique se conduit à la façon d'un enduit dont on recouvrirait les surfaces de la peau et des poumons, enduit qui empêcherait mécaniquement l'exhalation des gaz du sang veineux, et par conséquent l'hématose. (A. Gautier, *Chimie appliquée à la physiologie, à la pathologie et à l'hygiène.*)

Mais les malaises que nous ressentons dans les endroits mal aérés ne sont pas seulement dus à l'augmentation de la proportion d'acide carbonique, mais aussi à l'appauvrissement correspondant de la proportion d'oxygène.

F. Le Blanc a montré que si dans un air la quantité d'oxygène reste normale, la teneur en acide carbonique peut être assez fortement augmentée sans trop d'inconvénients. Un chien de forte taille a pu supporter une atmosphère contenant 30 °/₀ d'acide carbonique en volume; il restait encore 70 °/₀ d'air normal, soit 16 °/₀ d'oxygène.

Snow plongea des oiseaux dans une atmosphère contenant 21 °/₀ d'oxygène, 59 °/₀ d'azote et 20 °/₀ d'acide carbonique; ils y succombèrent, mais moins vite que dans un air formé de 19,75 d'oxygène, 74,25 d'azote et 6 seulement d'acide carbonique.

La limite extrême des milieux respirables paraît être donnée par la composition de l'air expiré; cet air contient 4 °/₀ d'acide carbonique et 16 °/₀ d'oxygène; une lampe s'y éteint; l'homme peut encore y vivre, mais non sans de violents malaises; un séjour prolongé dans un tel milieu pourrait devenir fatal.

F. Le Blanc, qui a trouvé jusque 1 °/₀ d'acido carbonique dans l'amphithéâtre de la Sorbonne, admet que le

séjour de l'homme dans une telle atmosphère ne saurait se prolonger sans exciter une sensation de malaise prononcée.

La combustion du charbon dans nos foyers et dans les réchauds surtout, peut également vicier l'air lorsque le tirage n'est pas fait d'une façon suffisante. Dans ce cas, outre l'acide carbonique, on trouve une certaine quantité d'oxyde de carbone, dont la présence rend l'air irrespirable. Nous savons combien l'oxyde de carbone est toxique; il forme avec l'hémoglobine une combinaison stable de laquelle il est très difficilement déplacé par l'oxygène de l'air. Il suffit de 1 $^0/_0$ d'oxyde de carbone pour rendre l'air très dangereux et même mortel.

La ventilation doit donc être opérée d'une façon largement suffisante partout où se trouvent réunies un certain nombre de personnes : salles d'école, amphithéâtres, laboratoires, théâtres, casernes, hôpitaux; dans ces derniers, surtout, il s'agit non seulement de renouveler l'air, mais encore d'entraîner les germes putrides. On a ainsi reconnu que la quantité de 6 à 10^{mc} par heure et par individu qu'on fournissait autrefois n'était pas suffisante; aujourd'hui, à l'hôpital Necker et à Lariboisière, on injecte plus de 60^{mc} d'air par heure et par lit.

Les habitants des maisons mal aérées de nos quartiers ouvriers, forcés de vivre dans une atmosphère pauvre en oxygène, chargée d'acide carbonique, de vapeur d'eau, d'exhalaisons miasmatiques diverses, arrivent peu à peu à l'anémie, à la scrofule et souvent à la phtisie. Ces effets se remarquent plus généralement chez les femmes et les

enfants, et chez ces derniers arrivent souvent des fièvres éruptives, le muguet et les affections diphtéritiques.

Dans les plus grandes agglomérations d'individus, sur les navires, dans les casernes et les prisons, les effets sont plus rapides et plus intenses. Ce sont des fièvres typhiques, des maladies de la peau, de l'herpès, le scorbut et le typhus endémique lui-même. (A. Gautier, *Chimie appliquée à la physiologie.*)

CHAPITRE V.

DES SUBSTANCES DIVERSES QU'ON PEUT ENCORE RENCONTRER DANS L'ATMOSPHÈRE.

Je viens de faire l'étude des substances fondamentales qui composent l'air : oxygène et azote, vapeur d'eau et acide carbonique. Mais à côté d'elles se trouvent d'autres substances qui peuvent se rencontrer dans l'atmosphère, ou y manquer, selon les circonstances ; leur présence est d'une grande importance. Ces matériaux supplémentaires sont des substances minérales, ou bien des poussières organiques inertes et même vivantes.

Je vais étudier ici tous les corps de la première catégorie, réservant pour un chapitre spécial l'étude si importante des poussières atmosphériques.

I. — Ozone.

On avait depuis longtemps remarqué que l'air traversé par une série d'étincelles électriques, ou celui qui environne une machine électrique en activité, présente une odeur forte, particulière, qu'on retrouve dans l'oxygène provenant de l'électrolyse de l'eau, ou dans l'air qui environne un bâton de phosphore s'oxydant lentement.

Schoenbein, en 1840, et après lui MM. Marignac et

de La Rive, Becquerel et Fremy, s'occupèrent de cette question et conclurent de leurs expériences que cette odeur particuliere est due à une modification spéciale de l'oxygène. Schoenbein lui donna le nom d'ozone.

Plus tard les expériences de MM. Babo, Andrews (1) et Tait, Houzeau et Berthelot, nous ont donné des moyens de préparer l'ozone et nous ont démontré que c'était bien une modification allotropique de l'oxygène, *de l'oxigène condensé.* Ses propriétés chimiques nous le montrent aussi, c'est un oxydant plus énergique que l'oxygène.

Les circonstances dans lesquelles l'ozone prend naissance, électrisation et combustions lentes, nous expliquent la présence de ce corps dans l'air.

Les combustions lentes peuvent être en effet une source d'ozone, mais nous croyons plutôt, avec M. le professeur A. Gautier (conférence faite à l'Association scientifique de France) qu'il faut chercher l'origine de l'ozone atmosphérique dans les tempêtes des hautes régions de l'air ; celles, en particulier, qui nous viennent du côté de la mer, et qui n'ont pas utilisé en route leur activité à oxyder les miasmes de l'atmosphère marine, toujours très pure. « On sait, dit M. Gautier, que l'air des hautes régions est exempt de microbes. Or l'on conçoit que s'il souffle vers le sol un vent venant des couches supérieures de l'air, le nombre des microbes diminue et qu'en même temps l'ozone augmente. C'est, en effet, ce qu'on a ob-

(1) Ann. chem. pharm. suppl., 6, p. 125. Bull. soc. chim., t. X, p. 10.

servé à Montsouris, sans en donner toutefois cette explication. »

L'atmosphère qui entoure notre planète est constamment agitée par des courants. Dans les hautes régions, ces courants électrisent positivement et ozonisent l'air ; ils se chargent en un mot *d'énergie* qu'ils nous apportent ensuite.

Par son pouvoir oxydant, l'ozone exerce dans l'air une action bienfaisante que Schoenbein déjà nous signale, mais qui n'a pas encore été assez étudiée. C'est à l'ozone qu'on doit attribuer la sensation excitante, reconfortante qu'on ressent le matin dans les bois et surtout sur le bord de la mer. L'atmosphère de nos grandes villes ne contient pas ou presque pas d'ozone qui s'y trouve presque aussitôt détruit ; à Montsouris on constate pourtant 2 mgr. d'ozone dans 100 m. c. d'air ; cette proportion peut s'élever jusqu'à 1/4 de gramme en pleine campagne.

Schoenbein faisait de l'ozone un agent destructeur des miasmes putrides qui peuvent exister dans l'air, de sorte que la présence de l'ozone serait jusqu'à un certain point un gage de salubrité, et son absence pourrait coïncider avec l'existence de germes épidémiques. Citons à ce sujet les expériences que le Dr Cook a faites dans l'Inde, à Câlcutta. Ce savant docteur croit à une relation entre les proportions d'ozone atmosphérique et le développement ou l'arrêt du choléra et des fièvres intermittentes.

Dans tous les cas l'ozone est en très faible proportion, dans les couches inférieures du moins de notre atmos-

phère, où une foule d'actions peuvent le détruire. Mais il pourrait se trouver en bien plus grande quantité dans les couches supérieures. Des recherches récentes de spectroscopie ont conduit, par exemple, M. Hautefeuille à attribuer à l'ozone la couleur bleue de l'atmosphère.

Différentes méthodes de dosage de l'ozone atmosphérique ont été proposées. Schöenbein se servait d'un papier ozonoscopique coloré en bleu sur une de ses moitiés par du tournesol, et imbibé sur l'autre d'un mélange d'empois d'amidon et d'iodure de potassium. L'ozone bleuit la partie qui correspond à l'iodure de potassium amidonné. Les vapeurs d'acide azoteux bleuissent aussi l'iodure, mais leur présence est signalée par le tournesol qui rougit en même temps. Des échelles de coloration ont été dressées, et par la comparaison de la teinte de l'iodure ainsi donnée avec une des teintes de l'échelle, on trouve la proportion d'ozone.

Malgré les perfectionnements apportés à ces papiers par M. Salleron, les résultats obtenus ne sont pas des plus satisfaisants ; il est difficile de mesurer la quantité d'air essayé et puis une foule de causes influent sur la coloration, en particulier l'humidité. On a encore essayé un papier imbibé d'oxyde de thallium qui brunit en passant à l'état de peroxyde.

Nous décrirons en détail la méthode employée journellement par M. A. Levy à l'observatoire de Montsouris.

L'air aspiré par une trompe vient barbotter dans deux verres contenant chacun 20 cc. d'eau, 2 cc. d'une solution d'arsénite de potasse (0 gr. 730 par litre) et 1 cc.

d'iodure de potassium ; l'air arrive par une sorte de pomme d'arrosoir en platine percée de trous. On fait passer un volume donné d'air ; puis on verse dans le 1er barbotteur, en ayant soin de laver la tête de platine qu'on retire, 20 gouttes environ d'une solution saturée de carbonate d'ammoniaque et 1 cc d'empois d'amidon. On titre alors avec une solution au 1/1000 d'iode, jusqu'à ce que la couleur bleue apparaisse. La lecture faite, on compare le volume d'iode versé à celui qui est nécessaire pour transformer les 2 cc. d'arsénite en arséniate. Pour cela on se place dans des conditions identiques. On met dans un verre semblable au barbotteur les mêmes volumes d'eau, d'arsenite, d'iodure, de carbonate, d'empois et on titre à l'iode. La différence des deux titres permet de conclure le poids de l'arsenite transformé par l'ozone, d'où le poids de ce dernier. On remarque que le 2e barbotteur ne contient jamais d'ozone qui est tout absorbé par le premier ; il peut servir ä faire le tirage repère.

La moyenne obtenue généralement à Montsouris est de 2 mgr. d'ozone pour 100 m. c. d'air. C'est un maximum. L'année dernière la moyenne a été de 1,9.

L'observation a montré que la quantité d'ozone varie avec la direction des vents ; on a même dressé à Montsouris une rose des vents et de l'ozone. En général la proportion augmente quand le vent tourne vers l'ouest et le sud ; elle diminue quand il passe au nord. D'après le Dr Bœckel, l'atmosphère est plus fortement chargée d'ozone pendant le mois de mai que pendant le reste de l'année. Du mois d'octobre à juin, l'air du matin est

plus riche en ozone que l'air du soir ; l'inverse a lieu pendant les mois de juillet, août et septembre.

II. *Ammoniaque.*

Les causes multiples de production de l'ammoniaque, causes dont quelques-unes, telle que la putréfaction des matières organiques, se rencontrent sans cesse à la surface de la terre, nous expliquent suffisamment la présence constante de ce corps dans l'air et dans les eaux météorologiques. Presque toujours elle s'y trouve à l'état de sels, carbonate ou azotate.

Boussingault (1), en 1857, fit toute une série de recherches sur la présence de l'ammoniaque dans l'air; il trouva que les eaux de rosées en contiennent beaucoup plus que les eaux de pluies ; il fit ses expériences sur des corps poreux qui, on le sait, absorbent une énorme quantité d'air et en même temps la vapeur d'eau qui y est contenue. Cette vapeur se condense en rosée, entraînant avec elle une forte proportion d'ammoniaque.

Plus récemment M. Schlœsing (2) a fait une étude complète sur l'ammoniaque atmosphérique et les échanges de ce corps entre l'eau, l'air et le sol.

La méthode qu'il emploie pour extraire l'ammoniaque de l'air et la doser ensuite consiste à faire passer un volume connu d'air à travers des appareils d'absorption. Son dispositif lui permet d'opérer en peu de temps sur

(1) Comptes rendus, 44, p. 1034.
(2) Comptes rendus, 80, p. 265.

30.000 litres d'air. Une cloche de 3 litres de capacité est fermée à sa base par une plaque de platine exactement emboitée et percée de trous ; elle repose ainsi sur 3 cales en verre dans un vase à fond plat un peu plus large et portant une assez grande ouverture qui amène l'air.

L'espace annulaire compris entre la cloche et le vase est fermé par un caoutchouc à pression. La cloche porte à sa partie supérieure une douille en verre au moyen de laquelle on la fait communiquer avec un aspirateur (l'aspiration est produite par un jet de vapeur injecté dans le tube adapté à la douille). On met dans la cloche 300 grammes d'eau. L'air pénètre dans le faux-fond et produit un barbottement tel que l'eau n'a plus le temps de se réunir en couche au fond de la cloche.

D'après M. Schlœsing, la loi de Dalton, d'après laquelle la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle, la température restant constante, à la pression partielle du gaz dans l'atmosphère ne se vérifie pas pour le carbonate d'ammoniaque à des doses de 0,25 à 1 mgr. par mètre cube. Ainsi, le rapport entre la teneur en ammoniaque de l'air et celle de l'eau diminue avec la pression au lieu de rester constant comme le veut la loi de Dalton. D'un autre côté, la quantité d'ammoniaque dissoute diminue rapidement quand la température s'élève.

Ammoniaque par mètre cube d'air.	Température.	Ammoniaque par litre d'eau.
mligr.		milligr.
0,06	5°,8	11,79
»	7°,6	7,41
»	12°,7	5,03
»	20°	2,56

Schlœsing a dressé des tables qui donnent le rapport entre les quantités d'ammoniaque contenues dans un mètre cube d'air et celles d'un litre d'eau, pour chaque température. Ces tables peuvent servir à résoudre toutes les questions d'échanges de l'ammoniaque entre l'air, la pluie et l'eau de mer (P. Schützenberger — *Chimie générale*, t. II).

La terre arable sèche enlève aussi de l'ammoniaque à l'air dans une certaine limite; d'après Schlœsing, la terre humide, en transformant cette ammoniaque en nitrate, agit encore mieux et il n'y a plus cette fois de limite de saturation.

Cette question de l'azote ammoniacal que les pluies amènent au sol est d'une grande importance pour la science agronomique; malheureusement, je ne puis pas m'y arrêter plus longtemps. Je décrirai seulement ici les procédés employés à Montsouris pour le dosage de l'azote ammoniacal dans l'air et dans les eaux météorologiques.

On recueille 500 cmc. d'eau au pluviomètre, on y ajoute 1 cmc. d'acide sulfurique au 1/10e et on évapore jusqu'à réduction à 30 cmc. On ajoute alors une solution de potasse de façon à alcaliniser, on introduit le liquide dans une petite cornue et on distille. Les deux premiers cinquièmes du liquide distillé sont reçus dans une fiole contenant un volume connu d'acide sulfurique étendu, titré et coloré par de la cochenille.

On a remarqué que dans la distillation toute l'ammoniaque partait avec les deux cinquièmes récoltés; elle vient neutraliser en partie la liqueur sulfurique. — On

fait alors un second titrage de celle-ci avec une liqueur alcaline d'ammoniaque telle que 1 cmc. égale 0 milligr.,056 AzH^3. — Le point de neutralisation est donné par la coloration rouge-violet que prend la cochenille. La différence des titres nous donne directement la quantité cherchée d'ammoniaque.

Le poids de l'ammoniaque contenue dans un litre, exprimé en milligr., multiplié par la hauteur en millimètres de la pluie tombée donne, en millig., l'ammoniaque reçue sur chaque mètre carré.

La moyenne générale est de 9 kilg.,801 d'azote ammoniacal par hectare et par an.

Voici des chiffres extraits de l'Annuaire de Montsouris qui donneront une idée de la quantité d'ammoniaque dans les eaux. Tous les chiffres sont donnés en azote ammoniacal.

	Milligr.
Saison froide 1876. Total par mètre carré....	470.7
— chaude 1877. — —	658.2

Soit un total de 1128 millig.,9 d'azote ammoniacal en douze mois.

Encore dans ces chiffres ne sont pas comprises les quantités apportées par les rosées, les brouillards, quantités parfois très élevées.

Ainsi on a constaté à Montsouris :

En novembre 1876, 6 mill.,7 par litre de rosée ;
— 4 ,8 —

Le 18 novembre 1876 une eau de brouillard contenait

18 millig.,5 par litre; en janvier 1877 on a constaté jusque 65 millig.

Boussingault, dans ses expériences sur les corps poreux avec lesquels il déterminait des rosées artificielles, avait trouvé jusqu'à 130 millig. d'ammoniaque par litre.

Les expériences effectuées dans des stations différentes donnent des nombres différents, mais les moyennes sont les mêmes. Chose remarquable, on a constaté un minimum en juillet, minimum qui se retrouve chaque année à la même époque dans les analyses de l'air et des eaux courantes.

Dans les analyses faites des eaux courantes, M. A. Levy a remarqué une grande constance de la teneur en ammoniaque.

Dans l'air, l'azote ammonical est dosé par un système de barbottage analogue à celui employé pour l'ozone. Il y a deux barbotteurs dont l'un n'absorbe rien et sert de repère. On met dans ces vases de l'eau acidulée par 1 cc. de SO^3,HO au $\frac{1}{10}$ et le titrage s'effectue ensuite comme pour les eaux de pluies : La moyenne ordinaire est de 3 millig. 7 d'ammoniaque pour 100^m d'air. Le maximum s'observe en été; c'est l'inverse pour l'ammoniaque des eaux ; on le comprend facilement sachant l'influence de la chaleur sur la dissolution ammonicale.

Des expériences comparatives sont faites à Montsouris et à l'annexe Lobau; sur ce dernier point de Paris les égouts et les urinoirs déversent dans l'air de grandes quantités d'ammoniaque, et malgré la diffusion de ce gaz même carbonaté, on constate à Lobau une proportion

d'ammoniaque plus grande qu'à Montsouris où l'air est déjà plus riche qu'a la campagne.

« Aux doses mêmes de l'annexe Lobau l'ammoniaque ne peut exercer sur notre économie qu'une influence utile plutôt que nocive. Cependant, elle est le témoin de l'altération des matières organiques de la ville ; elle a une action nutritive favorable sur la plupart des germes de l'air Son analyse et les variations de sa quantité peuvent donc donner une mesure relative de l'état sanitaire de la ville. » (*Ann. de Montsouris* 1886.)

III *Acide nitreux ; acide nitrique.*

L'action de l'électricité atmosphérique explique la présence des composées nitrés dans l'air. Cavendisch a démontré depuis longtemps que l'étincelle électrique, passant à travers de l'air, y produit un composé acide oxygéné de l'azote. Liebig a constaté dans les eaux de pluies d'orage la présence d'une certaine quantité d'azotate d'ammoniaque. La fréquence et la violence des orages sous les tropiques expliquent la richesse relative en acide nitrique, des pluies qui tombent dans ces contrées.

Enfin M. Schœnbein admet que dans certaines circonstances, telles que les combustions lentes, l'azote de l'air est susceptible de s'unir à l'eau pour former de l'azotite d'ammoniaque.

La présence des composés nitrés dans les eaux de pluies est d'une grande importance au point de vue agricole. — Aussi dose-t-on maintenant à Montsouris l'azote des ni-

trites et des nitrates contenus dans les eaux recueillies au pluviomètre. Voici le procédé employé :

On fait évaporer dans une étuve spéciale 200 cc. d'eau alcalinisée par 1cc. de potasse au $\frac{1}{10}$. Le liquide réduit à 10 cc. doit être débarrassé des matières organiques contenues dans l'eau, et dont la présence fausserait l'analyse. — Pour cela, le liquide évaporé est introduit dans une cornue en verre et on y ajoute du bioxyde de manganèse et de l'acide sulfurique ; l'oxygène dégagé brûle les matières organiques ; on recueille le produit acide qui distille et on arrête l'opération lorsque se montrent les vapeurs blanches d'acide sulfurique ; on ajoute de l'eau au résidu et on distille de nouveau. Le liquide distillé est alors filtré et introduit dans une autre cornue avec un poids déterminé de sulfate de fer ammoniacal, et 10 cc. d'un mélange formé de 4 p. d'acide chlorhydrique, 2 p. d'acide sulfurique et 4 p. d'eau. — On chauffe à l'ébullition dans un courant d'acide carbonique pour éviter l'action oxydante de l'air.

L'oxygène enlevé à l'acide azotique se porte sur le sel ferreux qu'il transforme partiellement en sel ferrique. On dose le sulfate de protoxyde restant par le permanganate de potasse. Connaissant à l'avance le titre du sulfate de fer, on déduit par différence le poids d'oxygène enlevé à l'acide nitrique et par suite le poids de ce dernier, en partant de cette donnée que 54 d'acide azotique fournissent 24 d'oxygène (*Ann. de Montsouris* 1885).

On trouve en moyenne plus d'azote nitrique durant la saison froide.

	Hauteur de pluie	Moyenne par litre	Total par m^2
	—	—	—
	millim.	milligr.	
Saison froide 1883	260,1	0,9	228,5
— chaude 1884	215,3	0,4	91,9

La moyenne générale est de 0 milligr. 73 par litre d'eau. La pluie ayant une hauteur moyenne de 546^{mm} par an. nous voyons que les eaux météorologiques apportent à Montsouris 3 k. 986 d'azote nitrique par hectare et par an.

On a trouvé pour l'azote ammoniacal 9 k. 801, ce qui fait au total 13 k. 787 d'azote rendus au sol.

M. Lawes, Gilbert et Waringson ont trouvé qu'en moyenne, cette quantité totale d'azote était de 11 k. 500 par hectare et par an avec une hauteur d'eau de 675^{mm}.

Bineau (1) a noté qu'à la campagne aux environs de Lyon, les quantités d'acide azotique étaient à celles d'ammoniaque contenues dans la même quantité de pluie comme 3 est à 2 — c'est le contraire en ville. Voici un tableau qui nous montre l'influence des villes :

	Azote (par litre)	
	Ammoniaque	Nitrique
	—	—
	milligr.	milligr.
Angleterre, intérieur des terres	0,88	0,19
— dans les villes.........	4,25	0,22
Ecosse, près de la côte............	0,61	0,11
— intérieur des terres........	0,44	0,08
— dans les villes............	3,15	0,30
— à Glascow...............	7,49	0,63
Montsouris.....................	1,76	0,74

(1) Ann. chim. et phys (3), t. XLII.

La proportion d'azote et surtout d'azote ammoniacal augmente donc beaucoup dans les villes.

IV. — D'autres produits peuvent encore se rencontrer dans l'air mais d'une façon accidentelle et localisée.

M. Boussingault a trouvé dans l'air de Lyon des traces d'*hydrogènes carbonés* (1 dix-millième). Il faisait passer un courant d'air filtré, purgé d'acide carbonique et de vapeur d'eau, sur de l'oxyde de cuivre, et il constatait la formation d'eau et d'acide carbonique.

M. Verver a montré que, dans les contrées marécageuses, le composé hydrocarburé principal est le gaz des marais qui se dégage en même temps que l'oxyde de carbone de la vase et des végétaux immergés exposés au soleil.

— Quelques auteurs, entre autres Struve (1) et Schoëne (2) ont affirmé l'existence dans l'air d'une petite quantité *d'eau oxygénée*; cette quantité irait même en croissant à mesure qu'on s'avance vers l'équateur.

Houzeau (3) contredit cette opinion.

— *L'acide borique*, *l'acide sulfureux* et l'*hydrogène sulfuré* existent dans les exhalaisons gazeuses des volcans, ainsi que l'ont montré les analyses de MM. Ch. Ste Claire Deville et Leblanc (4) sur les gaz des suffioni de Toscane et des volcans de l'Italie. L'hydrogène sulfuré se rencontre, d'ailleurs, dans tous les endroits où se décom-

(1) Comptes rendus, t. LXVIII, p. 1551.
(2) Bericht. dent. chem. Gesellschaft, t. XIII, p. 1503.
(3) Comptes rendus, t. LXVI, p. 314.
(4) Ann. de chim. et phys., t. LII.

posent des matières organiques animales (air des fosses d'aisance, des cimetières des égouts).

— Enfin M. Chatin a signalé la présence de l'*Iode* dans l'air et il a même donné un procédé pour le découvrir dans l'eau de pluie.

Cependant les expériences des auteurs qui ont étudié cette question contredisent celles de M. Chatin. MM. de Luca, Mène, Stædeler n'ont pas pu déceler une trace d'iode dans l'air ; et il est bien prouvé aujourd'hui que l'affection endémique du goître ne tient pas à l'absence de l'iode dans l'air ou dans l'eau des contrées infectées.

(5) Comptes rendus, 32, p. 1083.

CHAPITRE VI.

POUSSIÈRES DE L'AIR.

Lorsqu'un faisceau de lumière solaire traverse un appartement, sa direction est révélée à l'œil par une multitude de particules solides infiniment tenues et d'une grande mobilité. Quoique l'existence des poussières de l'air ait dû fixer l'attention depuis longtemps, leur étude ne date que de Lœuwenhoeck, Ehremberg et Gaultier de Claubry. C'est à ce dernier qu'on doit les premières recherches variment scientifiques (1). Mais les procédés de cet expérimentateur ainsi que ceux mis en œuvre par Dundas Thompson (2) et Baudrimont (3) sont très imparfaits. A. Pouchet fit faire à cette étude de grands progrès. C'est à lui qu'est due l'invention de l'aéroscope, instrument très commode pour la récolte des poussières de l'air. Voici l'inventaire qu'il donne des poussières organiques qu'il a observées :

Divers petits animaux desséchés, tels que les helmin-

(1) Gaultier de Claubry. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. XLI, p. 645 (1855).

(2) Dundas Thompson. [Appendix to Report of the Committee for scientific inquiries in relation to the cholera épidemia of 1854.

(3) A. Baudrimont. Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. XLI, p. 542.

thes appartenant au genre oxyure; des vibrions de diverses espèces; des squelettes d'infusoires; navicules de bacillaires et de diatomées; des fragments d'antennes de coléoptères; des écailles d'ailes de papillon; des poils de laine de diverses couleurs; des poils de lapin, de chauve-souris; des barbes de plume; des fragments de tarses d'insectes; gros œufs d'infusoires appelés kystes; des fragments de tissus des plantes : fibres ligneuses, cellules; des poils d'orties et d'autres végétaux; des fragments d'aigrettes de synanthérées; des filaments de coton; des grains de pollen; des spores de cryptogames; une notable quantité de fécule de blé et moins de fécule d'orge, de seigle et de pommes de terre.

C'est à M. Pasteur qu'on doit d'avoir établi les règles dont on ne doit point se départir dans les travaux de micrographie atmosphérique.

Cet illustre expérimentateur releva (1) l'erreur de M. Pouchet relative au nombre des spores des cryptogames. Au lieu d'être en petit nombre comme l'a annoncé Pouchet, elles sont au contraire fort répandues. La discussion soulevée à ce sujet eut l'heureux résultat de donner une impulsion très vive aux recherches sur les germes de l'air. Beaucoup d'auteurs se livrèrent à cette étude et reconnurent l'existence dans l'air de spores nettement visibles au microscope. Les travaux du Dr Maddox (2) et du Dr Douglas de Cunningham méritent d'être

(1) Pasteur. Annales de chim. et de phys., t. LXIV, p. 28 et 33, 1862.

(2) Maddox. On an apparatus for collecting atmospheric particles (Monthly microscopical Journal, t. III, p. 286.)

mentionnés. Le premier inaugura les recherches statistiques et publia une planche où sont dessinés les grains de pollens et les spores cryptogamiques observés par lui dans les poussières de l'air. Le Dr Cunningham publia en 1873 à Calcutta (1) un travail très bien fait, très méthodique et très instructif sur les germes répandus dans l'air libre, l'air des égouts et dans l'eau de pluie, de la ville de Calcutta. Je dois aussi noter les recherches de M. Ch. Robin, de M Schœnauer et de M. G. Tissandier qui étudia avec un soin particulier les globules de fer météorique et qui les isola en promenant un aimant à une faible distance d'une couche de poussière atmosphérique (2).

M. le Dr Miquel a apporté de grands perfectionnements aux méthodes mises en œuvre pour l'étude statistique des germes de l'atmosphère. Il dirige à Montsouris un laboratoire de recherches qui sert aujourd'hui de modèle aux observations analogues du monde entier.

Poussières minérales.

Ce travail a surtout pour objet l'étude des germes vivants de l'air. Il importe cependant d'indiquer la nature des poussières inertes qui accompagnent les microbes. Elles sont variables suivant les lieux où elles ont été recueillies. Ainsi dans l'air des appartements habités volti-

(1) Douglas Cunningham. Microscopic examinations of air. Calcutta, 1879.

(2) G. Tissandier. Les poussières de l'air, p. 49.

gent de nombreuses fibres textiles de couleurs diverses. L'air des rues présente moins de ces débris de tissus et les poussières terreuses y dominent. A la campagne où les corps solides en suspension dans l'air sont bien moins abondants que dans les villes, ce sont en partie des débris arrachés à l'écorce des arbres ou aux plantes en voie de décomposition. L'abondance des poussières de l'air, ainsi qu'on doit s'y attendre, est très faible lorque le temps est humide. La diminution porte surtout sur les poussières inorganiques. Les substances minérales qu'on trouve dans l'air en particules ténues et qui ont été enlevées par les vents à la surface du sol doivent varier suivant les couches géologiques du sol de chaque pays; elles sont formées de carbonate et de sulfate de chaux, de silice et de silicates divers, de phosphates terreux, de fer météorique, etc.

Des causes accidentelles apportent quelquefois dans l'air des substances particulières; ainsi, les éruptions volcaniques ont parfois donné lieu à ces pluies de soufre qui ont longtemps effrayé l'imagination du peuple. En 1884, l'éruption du Krakatoa, volcan de l'île de Java, produisit des nuages de poussières, qui restèrent plusieurs mois dans l'atmosphère et furent emportées au loin par les vents. C'est à ces poussières qu'on a attribué les magnifiques teintes rougeâtres que prenait le ciel tous les soirs. On a aussi constaté dans l'air l'existence de certains sels solubles enlevés par les vents à la surface de la mer; entre autres le chlorure de sodium et le sulfate de soude. La présence des sels de soude dans l'air est démontrée par la couleur jaune des flammes. M. Ger-

nez, en se fondant sur la propriété des solutions sursuturées de ne cristalliser que lorsqu'on y introduit un cristal de même nature ou de même forme que ceux que les solutions peuvent produire, prouva que le sulfate de soude existe dans l'air. Une solution sursaturée de ce sel ne tarde pas, en effet, à cristalliser, quand on l'expose à l'air.

J'ai déjà donné, d'après Pouchet, la liste des poussières organiques; j'ajouterai qu'on trouve assez rarement dans l'air des œufs et des cadavres d'infusoires; pour constater leur préseuce, on ensemence dans de l'eau bouillie des bourres d'amiante stérilisées au travers desquelles on a fait passer un certain volume d'air. On ne tarde pas à voir paraître dans cette eau des algues vertes, des végétations cryptogamiques et souvent des infusoires ciliés, plus rarement des stentors et des rotateurs.

Germes vivants de l'air.

Je vais m'occuper maintenant des méthodes capables de faire connaître les espèces des germes vivants de l'atmosphère, de déterminer leur nombre et les causes qui le font varier.

On peut diviser ces germes en deux groupes : les uns ont des dimensions qui permettent de les observer et de les compter facilement au microscope, ce sont les spores des cryptogames; les autres sont tellement petits que le microscope est tout à fait insuffisant pour les faire distinguer des particules minérales très fines. Aussi est-il né-

cessaire pour les étudier d'avoir recours à des méthodes spéciales. Ces derniers sont les semences d'espèces végétales inférieures, qu'on désigne par les noms de bactéries, schizomycètes, microbes, vibrioniens, saprophytes, etc.

Je commencerai par l'étude des spores cryptogamiques.

Récolte des poussières.

On a imaginé un grand nombre de procédés pour recueillir les poussières de l'air. Le plus simple consiste à exposer à l'air une plaque de verre enduite d'un liquide gluant ; mais il a l'inconvénient de fixer beaucoup d'éléments grossiers et peu d'organismes. Ce procédé est le plus défectueux. On a proposé de recueillir dans des vases purifiés de tout germe, l'eau de pluie qui entraîne avec elle les poussières de l'air, ou encore de condenser la vapeur d'eau atmosphérique au moyen de mélanges réfrigérants ; les eaux recueillies abandonnées à elles-mêmes laissent déposer les corpuscules qu'on peut ensuite étudier au microscope. Gaultier de Claubry et d'autres expérimentateurs ont fait passer l'air dans de l'eau bouillie placée dans des flacons de Woolf, des tubes à boules, etc. Cette méthode, si elle a quelque durée, donne le temps aux germes de pulluler, et on a alors plus de microbes que l'air n'en contenait en réalité.

On évite cet inconvénient en employant le procédé imaginé par M. Pasteur. Il consiste à faire filtrer l'air dans une bourre de coton nitrique, qui retient les poussières, en plaçant cette bourre dans un tube qui traverse

le châssis d'une fenêtre et en y déterminant un appel d'air au moyen d'un aspirateur. La bourre est ensuite dissoute dans un mélange d'éther et d'alcool ; on laisse déposer la solution ; on décante, on lave le dépôt à plusieurs reprises à l'eau pure et on le porte sous le microscope. L'emploi de ce procédé n'est pas commode pour les recherches statistiques des germes. La méthode des aéroscopes est bien préférable.

Dans ces instruments on fixe les poussières de l'air en dirigeant un jet de ce gaz sur une lame de verre recouverte d'une couche d'un liquide visqueux composé de deux parties de glycérine et d'une partie de glucose solide. Ce mélange n'est pas susceptible de s'hydrater et par suite de couler, et les germes s'y conservent parfaitement.

L'invention des aéroscopes est due à A. Pouchet ; on en a imaginé de nombreuses variétés. Je me bornerai à décrire ceux que M. Miquel emploie au laboratoire de Montsouris. Je commencerai par le plus simple : l'aéroscope à girouette.

Cet instrument se compose de deux parties qui, réunies, constituent un tube en forme d'S dont les extrémités sont évasées. La partie supérieure est fixée à une girouette en drapeau ; la pièce inférieure se visse sur la précédente et se termine en haut par un cône dont le sommet est percé d'une petite ouverture. Ce cône est dominé par une potence soutenant un étrier suspendu à une vis micrométrique qui permet de rapprocher ou d'éloigner à volonté de la petite ouverture une lamelle de verre retenue dans deux rainures.

Cet appareil présente de lui-même son ouverture infé-

rieure au vent, qui s'y engouffre et produit par la petite ouverture un jet d'air, qui frappe la petite lamelle placée en regard ; celle-ci enduite de liquide visqueux retient les poussières de l'air qui va s'échapper par le pavillon supérieur.

Cet instrument à un inconvénient grave c'est de ne pas faire connaître le volume d'air qui l'a traversé.

Il vaut mieux faire usage d'aéroscopes munis soit d'aspirateurs à eau dont le volume écoulé indique celui de l'air, soit de trompes qui envoient l'air dans des compteurs.

L'aéroscope à aspiration de Montsouris est formé d'une cloche en cuivre nickelé, munie à sa partie supérieure d'un tube coudé à angle droit relié aux appareils aspirateurs par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc, d'un pas de vis à sa partie inférieure et interne, et d'une tige rigide horizontale destinée à fixer la cloche à un poteau au-dessus de la surface du sol. Un cône métallique percé d'une fine ouverture et surmonté du système destiné à supporter la lamelle de verre se visse à l'ouverture inférieure de la cloche.

Pour récolter les germes atmosphériques avec cet appareil, on place au centre de la lamelle même de verre l'enduit visqueux dejà mentionné sur une surface de 2 ^{cmq} environ ; puis cette lamelle est placée sur l'étrier, la face mouillée regardant la petite ouverture par laquelle l'air doit s'écouler. Au moyen de la vis micrométrique on amène cette lamelle à 3 mill. de l'ouverture. Le tout étant en place, on fait passer dans l'appareil un courant d'air modéré pendant quarante-huit heures ; on arrive

ainsi à charger la lamelle d'une quantité de spores suffisamment élevée, ce qui rend leur dénombrement plus approximatif.

Pour compter le nombre des germes, on commence par bien mélanger le liquide gluant avec la pointe d'une aiguille flambée afin de répartir également les poussières dans ce liquide. On applique alors la lamelle mince sur une plaque de verre et l'on transporte la préparation sous le microscope. On examine alors les différentes parties de la lamelle et l'on compte chaque fois le nombre des spores contenus dans le champ : on détermine le moyenne des différents nombres obtenus et si l'on connaît le rapport qui existe entre la surface du champ du microscope et la surface de la lamelle, il suffit pour obtenir le nombre total de germes recueillis de multiplier ce rapport par le nombre moyen des germes vus dans le champ. On compare enfin le nombre de microbes calculé au volume d'air qui a passé pendant l'opération.

On n'obtient pas ainsi le nombre absolu des germes de l'air car l'aéroscope ne les fixe pas tous; on peut admettre cependant que le nombre des spores que l'on recueille est proportionnel à celui que renferme l'air et si l'on a soin d'opérer toujours dans les mêmes conditions, d'employer le même aéroscope muni d'une lamelle de même surface, de diriger sur cette lamelle enduite d'un liquide visqueux un jet d'air de même force, provenant d'une ouverture de même diamètre et tenue à une distance invariable, la comparaison des résultats obtenus permettra de se rendre compte des causes qui font varier le chiffre des microbes de l'air.

Dans le but de déterminer les variations que ce nombre éprouve à tous les instants du jour M. Miquel a apporté à son aéroscope les modifications suivantes : la cloche est pénétrée par un cylindre horizontal dont l'une des extrémités est fermée par un bouchon vissé et l'autre par une cloison percée d'un trou à travers lequel passe à frottement doux un arbre de couche muni dans la plus grande partie de sa longueur d'un filet de vis micrométrique. Cette longue vis repose du côté du bouchon sur un diaphragme qu'elle traverse en présentant une tête carrée pouvant s'engager dans une clef, de l'autre sur la cloison qu'elle dépasse à l'état de tige libre se terminant extérieurement par une roue actionnée par un chronomètre. Le pas de vis est tel qu'un chariot gouverné par elle parcourt 0 m. 06 en vingt-quatre heures. Ce chariot est formé d'une plaque de bronze, glissant dans deux coulisses fixées parallèlement dans l'intérieur du cylindre. A la partie inférieure du chariot s'encastre une lamelle porte-objet du microscope facile à placer et à enlever quand le bouchon a été retiré, et le chariot amené à l'extérieur à travers une fente rectangulaire dont le diaphragme est percé. La lamelle de verre fixée sur le chariot et amené en regard de la petite ouverture pratiquée au sommet du cône métallique qui dirige l'air sur elle, présente en vingt-quatre heures devant cette ouverture tous les points de sa surface situés par une ligne de 0 m. 06 de longueur. On fractionne cette ligne en vingt-quatre parties, et l'on marque d'un trait plus long les heures multiples de 3 afin de se reconnaître plus facilement.

La lamelle recouverte d'un enduit gluant est donc placée de manière que sa première division se trouve en regard de la petite ouverture, et le chronomètre ayant été remonté, on met l'appareil en marche. Les divisions de la lame viennent se placer successivement devant l'ouverture aux heures correspondantes à leur numéro d'ordre. En observant ensuite les poussières déposées sur chaque division, on peut déterminer le nombre des germes existant dans l'air à toutes les heures du jour. Mais pour cela il faut que le volume d'air dirigé sur la plaque soit égal en temps égaux; en second lieu, que les poussières soient immobilisées sur les points où l'air les projette. On peut réaliser ces conditions en faisant usage d'aspirateurs à eau à écoulement constant et en se servant, comme liquides gluants, d'oléo-résines semi-fluides et rendues peu siccatives par l'addition d'un peu de glu, ou, mieux, du liquide obtenu en broyant un blanc d'œuf avec un peu d'eau et de glucose, et ajoutant à ce mélange pour le rendre imputrescible du biiodure de mercure.

Avant de passer aux méthodes qui ont été mises en œuvre pour l'étude des bactéries de l'air, j'énumérerai les résultats intéressants relatifs aux spores cryptogamiques de l'air qui ont été obtenus à l'observatoire de Montsouris.

Parmi les causes qui font varier le nombre des spores dans l'atmosphère, les unes sont périodiques : ce sont la chaleur et le froid; les autres sont accidentelles, ce sont la vitesse et la direction du vent, les chûtes de neige, de pluie, une sécheresse prolongée.

Le nombre des germes est plus faible en hiver qu'en été. Il présente son maximum en juin. Souvent une cause plus puissante que la chaleur vient troubler le rapport qui existe entre le nombre des germes et la température. Il faut tenir compte de la pluie et de la sécheresse.

En hiver, un temps froid et humide abaisse le chiffre des spores; la sécheresse, au contraire, enrichit l'air de vieilles semences et de particules minérales.

En été, par un temps humide, il y a peu de ces dernières dans l'air, mais les spores sont abondantes. Les conditions de température et l'humidité sont alors favorables au pullulement des cryptogames. La sécheresse, au contraire, un peu prolongée appauvrit l'air de ses germes. La pluie entraîne mécaniquement les poussières minérales qui sont denses mais elle ne débarrasse l'air que d'une partie de ses germes et peu de temps après ceux-ci reparaissent beaucoup plus nombreux.

L'influence de la direction du vent a une importance notable. La richesse de l'air en germes dépend des contrées qu'il a traversées. Ainsi le chiffre des spores récoltées à l'observatoire de Montsouris se maintient généralement à 7,000; mais il peut s'élever à 10,000 quand le vent souffle du Nord au Sud, c'est-à-dire lorsqu'il a traversé Paris; si le vent tourne au Sud ce chiffre devient cinq à six fois plus faible.

Le tableau suivant que j'extrais de l'excellent livre de M. Miquel, sur les organismes vivants de l'atmosphère, donne une idée de l'influence des saisons sur le nombre des germes de l'air.

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
	—	—	—	—
1879.........	5500	15700	28900	15000
1880.........	6200	10700	36100	8700
1881.........	6900	12800	10500	12200
Moyenne...	6200	13000	28000	9800

Les spores des cryptogames, qui se trouvent dans l'air, ne semblent pas très redoutables. Nous en introduisons, en effet, environ 300,000 par jour dans notre économie sans que nous nous en portions plus mal. Cependant, dans les cas où la résistance de l'organisme est diminuée, certaines spores peuvent végéter sur nos tissus, comme le prouve l'envahissement des voies respiratoires par le muguet (saccharomycès albicans), chez les jeunes enfants et chez les mourants.

Bactéries de l'air.

Existe-t-il dans l'air des germes de bactéries? Plusieurs observateurs l'ont affirmé. De ce nombre sont Dundas Thompson, Camuelson, Gaultier de Claubry; mais les expériences sur lesquelles ils s'appuient ne sont pas irréprochables. Il n'en est pas de même des recherches de M. Pasteur (1), c'est à lui qu'est due la preuve rigoureuse, inattaquable de l'existence des schizophytes dans l'atmosphère. Cet expérimentateur habile opère avec des vases et des liquides dans lesquels il a eu soin de tuer les germes par la chaleur et de ne laisser rentrer que de l'air calciné; abandonnés ensuite à eux-mêmes à la tempéra-

(1) Annales de physique et de chimie, t. LXIV, 1862.

ture de 30°, les liquides se conservent indéfiniment. C'est après un à deux mois seulement qu'il introduit dans ces liquides les poussières de l'atmosphère recueillies sur des bourres de coton nitrique, comme il a été dit plus haut. Il a déduit de ses expériences les conclusions suivantes :

1° Un liquide placé à l'abri des impuretés de l'air ne montre jamais de bactéries;

2° Les poussières seules provoquent l'éclosion de ces bactéries;

3° L'air filtré, débarrassé de ses corpuscules normaux est impropre à peupler de bactéries les infusions les plus altérables.

Ces conclusions de M. Pasteur furent attaquées par plusieurs savants, entre autres par les hétérogénistes, qui pensent qu'un être vivant peut se former de toute pièce, en l'absence de tout germe. A. Pouchet ayant soulevé la question de l'hétérogénèse devant l'Académie des sciences, en 1860, M. Pasteur entra dans la discussion et réfuta les arguments de ses adversaires. Pouchet avait dit : la quantité de germes contenus dans l'atmosphère ne peut expliquer les cas nombreux d'altération des liqueurs bouillies. Cela est vrai, mais M. Pasteur démontra que l'ébullition de l'eau est impuissante à détruire les germes que ce liquide renferme normalement, et qu'il faut pour cela une température de 110°. C'était donc à tort que Pouchet attribuait la cause de cette altération à une génération spontanée. En employant un ballon à col brisé, M. Pasteur put sans chauffer ni filtrer l'air conserver des liquides simplement bouillis. Il put recueillir du sang et de l'urine, dans des vases stérilisés, en évitant le contact

de l'air, et conserver ces liquides sans altération. Il conclut de ces expériences que la force créatrice de Needham qui serait détruite par l'action du feu, n'existe pas. Enfin, le Dr Bastian ayant annoncé que de l'urine bouillie après s'être conservée longtemps sans altération, preuve qu'elle était privée de germes, avait engendré des bactéries après qu'on l'eut saturée par la potasse, M. Pasteur répondit que, dans cette expérience, l'urine n'était pas stérilisée, mais que la saturation par la potasse l'avait rendue capable de rajeunir les germes, propriété qu'elle ne possédait pas auparavant. Les idées de M. Pasteur ne trouvèrent plus dès lors de contradicteurs.

Récolte des germes.

Nous avons vu que les germes des bactéries, à cause de leur extrême petitesse, échappent à l'observation microscopique; la seule méthode qui permette de constater leur présence et de les étudier, est la méthode de culture inventée par M. Pasteur. On a dû imaginer des procédés spéciaux pour les recueillir : on les a trouvés dans l'eau de pluie ; on peut donc les récolter en recevant cette eau dans des conditions convenables. On se sert pour cela d'un udomètre composé : 1° d'une tige horizontale fixée à un poteau de bois planté loin de tout massif d'arbres ou de toute habitation ; 2° d'un entonnoir en cuivre nickelé (on le porte, avant de s'en servir, avec l'anneau qui le supporte, à une température élevée) ; 3° d'un creuset de platine, porté d'abord au rouge, puis placé sous l'ouverture de l'entonnoir.

Le procédé le plus généralement mis en usage consiste à faire barbotter de l'air dans de l'eau stérilisée. M. Miquel se servait primitivement, pour faire cette opération, d'un tube dont la partie moyenne était renflée en boule, et dont la partie inférieure était recourbée en S et effilée. La branche supérieure, étranglée en un point, était garnie au-dessus et au-dessous de l'étranglement, de deux tampons d'amiante ou de coton de verre.

Après avoir stérilisé ce tube on y introduisait 20 cc. d'une liqueur putrescible également stérilisée, et on l'abandonnait un mois à l'étuve. Si la liqueur conservait sa limpidité, on pouvait s'en servir pour déceler les germes de l'air.

Au moyen d'un aspirateur, on faisait ensuite passer un volume d'air déterminé dans ce tube, l'expérimentateur se tenant à distance. Lorsqu'on avait arrêté le courant d'air, on pouvait approcher et sceller le tube effilé à la lampe. On portait ensuite l'appareil à l'étuve et, suivant qu'il s'altérait ou non, on jugeait que le volume d'air qui l'avait traversé était chargé ou non de germes rajeunissables.

M. Miquel se sert aujourd'hui d'un appareil plus stable. C'est un petit matras à trois tubulures. L'une est formée du col même du matras que l'on peut fermer par un capuchon tubulé et rodé, contenant un peu de coton stérile ; ce col se prolonge presque jusqu'au fond du vase en s'effilant en pointe. Une deuxième tubulure existe sur la paroi latérale du matras ; elle est garnie d'une double bourre de coton stérile et elle est destinée à être mise en communication avec un aspirateur dont le rôle

est de faire circuler l'air à travers le flacon, et à le mesurer à sa sortie. Une autre tubulure latérale est recourbée, effilée en pointe et fermée durant la prise d'air ; elle est destinée à permettre la distribution, dans des flacons de culture, de l'eau du matras chargée des microbes de l'air.

Ces flacons de culture ont la forme des flacons dont on se sert en physique pour prendre la densité des corps solides. Cependant le bouchon, au lieu de s'engager dans le col, recouvre ce col à la manière d'un capuchon ; il porte à sa partie supérieure un tube dans lequel on place un tampon de ouate. Pour s'en servir, on le stérilise et, au moyen d'une pipette flambée, on y introduit un liquide altérable, privé de germes. On doit l'abandonner ensuite un certain temps à l'étuve et, si le liquide qu'il renferme ne s'altère pas, il est bon pour l'usage.

L'emploi du barbotteur que je viens de décrire est impraticable en voyage. Les germes ne peuvent y séjourner quelque temps sans s'altérer, et l'on manque de moyens et de temps pour les cultiver tout de suite. Il fallait donc trouver un mode de récolte qui permît de conserver les germes jusqu'au retour au laboratoire. M. A. Gautier a résolu ce problème d'une façon très heureuse, par l'invention des tubes filtres au sulfate de soude.

L'appareil de M. Gautier se compose d'un tube de verre étroit, ouvert aux deux bouts et portant une ampoule conique dont le gros bout est en bas ; à 1 centimètre au-dessous de cette ampoule, le tube se rétrécit en un étranglement presque capillaire. Dans la partie du tube qui suit l'étranglement, on place d'avance un peu

de laine de verre ; on verse dans l'ampoule 1 décigramme environ de sulfate de soude pur, préalablement deshydraté, en poudre fine ; ce sel doit couvrir toute la partie inférieure élargie du cône. On obtient ainsi le filtre que l'air devra traverser.

L'appareil étant destiné à recueillir des germes dans des lieux ou l'eau fait souvent défaut, M. Gautier a dû renoncer aux aspirateurs qui exigent l'emploi de ce liquide ; il a imaginé un aspirateur spécial, une sorte de soufflet en caoutchouc, très peu encombrant. Pour s'en servir il suffit de le suspendre à un bâton ferré de montagne et d'ouvrir un robinet dont il est muni à sa partie supérieure ; en se détendant il aspire 6 litres d'air aussi rapidement et aussi lentement qu'il est nécessaire. Quand l'aspirateur est plein d'air, on referme les spires du soufflet et on recommence. La mesure du volume d'air aspiré est facile, si l'on tient compte de la pression sous laquelle s'est faite l'aspiration et du nombre de coups de soufflet.

Pour faire usage de l'appareil, on stérilise le tube filtre en le flambant, on le place sur son support, puis, au moyen d'un tube en caoutchouc, on relie son extrémité inférieure avec l'aspirateur. Sur le trajet du caoutchouc on interpose un petit barbotteur. On ouvre avec précaution le robinet de l'aspirateur et la filtration commence. Quand on a fait passer un volume d'air suffisant, on détache le caoutchouc, on flambe le tube entre la bourre de laine de verre et le bout dirigé en bas, et l'on ferme les deux extrémités du tube filtre à la cire rouge. On peut transporter un grand nombre de ces tubes et y conserver

presque indéfiniment les germes recueillis, car le sulfate de soude, grâce à sa sécheresse et à sa neutralité, les conserve très longtemps.

Lorsqu'on veut observer et compter les microbes, on fixe à la cire sur le tube-filtre une ampoule contenant de l'eau stérilisée que l'on fait couler sur le sulfate de soude. Celui-ci se dissout et entraîne les germes. La solution est reçue dans un flacon conique où l'on a placé au préalable, suivant l'excellente méthode de M. Certes, quatre à cinq gouttes d'une dissolution d'acide osmique au trentième. Les microbes se rassemblent au fond du vase et il ne reste plus qu'à les examiner au microscope. Si l'on veut les cultiver, au lieu de recueillir la solution de sulfate de soude tenant les microbes en suspension dans un vase conique, on la reçoit dans une burette de Gay-Lussac et on l'ensemence dans des milieux altérables.

Milieux de culture.

Il n'est pas inutile de dire quelques mots sur les milieux de culture. Leur choix n'est pas indifférent et dépend de la nature des germes que l'on veut rajeunir. Ainsi on doit se servir de liqueurs acides riches en hydrates de carbone pour cultiver les moisissures, et de liqueurs neutres ou légèrement alcalines et chargées de substances azotées pour les bactéries.

Les liquides qui ont été employés par les observateurs pour étudier le développement des microbes sont très nombreux. On peut les diviser en deux groupes : les uns ne tiennent en dissolution que des substances miné-

rales, les autres sont des infusions végétales, des décoctions de chair musculaire ou bouillons, des liquides animaux extraits par des procédés spéciaux de l'organisme des êtres vivants, des jus de viande, des sucs végétaux, etc. Parmi les premiers je citerai le liquide employé jadis par M. Pasteur pour démontrer que la fermentation alcoolique peut se faire en l'absence de toute matière albuminoïde. Ces sortes de solutions sont du reste peu favorables au développement des bactéries. Les décoctions de viande jouissent, au contraire, d'une vogue justifiée; cependant le bouillon préparé avec l'extrait de viande de Liebig est d'une qualité bien inférieure à celle que l'on obtient par la décoction de la chair musculaire, aussi ce dernier est-il préféré par les bactéries et est-il plus altérable. Au reste, on ne doit pas oublier que, pour obtenir des résultats comparables dans la recherche des microbes, il importe de faire usage d'un bouillon toujours préparé de la même manière.

Les liqueurs de culture préparées à froid sont plus putrescibles que celles qui ont été soumises à l'action de la chaleur ; celle-ci modifie profondément certains de leurs principes nutritifs ; il est donc préférable d'employer des liquides stérilisés à froid.

Pour obtenir ces liquides on emploie les procédés suivants :

1° On extrait directement les liquides animaux de l'organisme des êtres vivants en évitant les causes d'erreur venues de l'extérieur ;

2° En faisant digérer de la viande fraîche dans de l'eau portée au préalable à 110° ;

3° En filtrant le jus de viande et les sucs d'origine végétale à travers une substance capable de retenir les germes.

M. Chamberland a pu recueillir du lait et du sang privés de germes par un procédé très simple. Il s'est servi de tubes étirés et un peu recourbés dont la pointe était garnie de coton. On les chauffait d'abord à l'étuve, pour les stériliser, jusqu'à ce que le coton fut roussi ; puis on enlevait le tampon, on flambait la pointe et on introduisait le lait directement en approchant la pointe le plus près possible du pis. On fermait ensuite les tubes à la lampe. Dans le plus grand nombre des tubes, le lait restait inaltéré pendant plusieurs mois.

Pour le sang, M. Chamberland a employé des tubes différant de ceux dont il se servait pour recueillir le lait, par une pointe soudée latéralement.

Ils avaient donc deux tubulures : la supérieure était garnie d'un tampon de coton, la latérale était effilée.

Après avoir stérilisé les tubes, on recueillait le sang en introduisant la pointe dans la veine ouverte d'un animal et en aspirant par la tubulure supérieure. On fermait ensuite la pointe à la lampe.

Pour séparer des liqueurs altérables des microbes qu'elles peuvent contenir, M. Pasteur a imaginé de les filtrer sur du plâtre. Une culture de bactéridie charbonneuse traitée par ce procédé a fourni un liquide impropre à communiquer le charbon. M. Pasteur porta ainsi un coup sensible à la théorie des virus plastiques.

Aux filtres de plâtre M. Gautier a substitué les filtres de porcelaine qui sont d'un emploi plus commode et qui

n'ont pas l'inconvénient d'introduire du sulfate de chaux dans les liqueurs.

Il existe d'autres milieux de culture des bactéries qui tendent à remplacer les liquides ; ce sont les gelées peptonisées dont on a attribué à tort l'invention à M. le Dr Koch. Ce savant ne contribua qu'à les vulgariser. C'est Kleps, de Prague, qui eut le premier l'idée des cultures sur des corps demi-solides. Après lui, Von Brefeld, M. Schœnauer employèrent cette méthode. M. Miquel rendit les gelées plus nutritives en y ajoutant du bouillon de bœuf. Ce n'est qu'après ces savants que M. le Dr Koch adopta ce mode de culture qui est réellement commode pour la numération et la séparation des espèces. On l'emploie actuellement beaucoup quoiqu'il paraisse peu favorable au développement des bactéries.

Les Allemands se servent de gélatines nutritives qui ont le défaut de fondre avant 30°, ce qui ne permet pas d'y cultiver des organismes qui exigent une température un peu plus élevée. M. Miquel se trouve très bien d'une gelée qu'on prépare de la manière suivante : On fait une décoction épaisse de lichen carragaheen (fucus crispus) dont on sépare d'abord les frondes au tamis en toile métallique, puis on filtre la décoction à chaud. On dessèche rapidement cette gelée à l'étuve à 35° à 40°, sur des assiettes. Il reste des pellicules analogues à des feuilles de gélatine. On ajoute 15 gr. de cette gélatine de lichen et 10 gr. de géose à un litre de bouillon de bœuf neutralisé à la soude et non salé. Le tout est introduit dans de petits matras scellés et chauffés à 110° pour être stérilisés.

On prépare ensuite un papier recouvert d'une couche

mince de la préparation précédente. Pour cela on prend du papier Bristol, on le vernit à la gomme laque, puis, lorsqu'il est sec, on relève ses bords et on y verse une quantité convenable de la gelée liquéfiée qu'on étend avec soin au moyen d'une baguette de verre flambée. La gelée ne tarde pas à se prendre. Ce papier peut servir immédiatement ; si on veut le conserver on le sèche. Quand on veut s'en servir on le met gonfler dans de l'eau stérilisée ; puis on le fixe sur une lame de verre flambée au moyen de quatre bandes de cristal et on verse à sa surface de l'eau ensemencée de microbes. On peut préparer ainsi un certain nombre de lames de papier, qui reçoivent la même quantité d'un bouillon ensemencé par un volume d'air connu ; on les place ensuite sous une cloche de verre trempant dans une cuvette remplie d'eau destinée à entretenir l'atmosphère humide et on porte le tout à l'étuve qu'on chauffe à 35° à 40°.

Il se développe bientôt sur la matière nutritive des papiers autant de colonies qu'il a été déposé de germes. Il est alors facile de les compter et de séparer les différentes espèces pour les cultiver à part.

Pour rendre la numération plus facile on opère de la manière suivante à Montsouris : on plonge le papier couvert de moisissures et de bactéries dans une solution d'alun qui insolubilise la gelée de lichen et mordance les surfaces. Puis on lave avec de l'eau bouillie la bande de papier que l'on immerge trente secondes dans une solution d'acide sulfo-indigotique titrant 2 grammes d'indigotine par litre. On lave alors la feuille à l'eau et on la trempe dans un bain à 1 pour mille de permanganate de

potasse jusqu'à ce que le fond de la feuille qu'avait bleuïe l'acide sulfo-indigotique soit redevenu blanc. Il ne reste plus qu'à laver le papier et le sécher. Les bactéries et les moisissures qui ont absorbé la couleur bleue avec une grande intensité apparaissent en bleu sur un fond blanc.

Le papier, dont la préparation vient d'être décrite, est appliqué dans l'ingénieux appareil enregistreur de M. le Dr Miquel. Cet aéroscope se compose : 1° d'une cloche tubulée en haut et percée latéralement d'une fente verticale que l'air traverse pendant l'aspiration. Les bords de cette cloche reposent dans le fond d'une rigole circulaire pleine de mercure et pratiquée sur un plateau de bois ; 2° d'un mouvement d'horlogerie placé sous la cloche et solidement fixé sur un pied ; il entraîne dans sa rotation un cylindre d'ébonite de grand diamètre. C'est sur ce cylindre que l'on enroule une bande de papier nutritif qui présente successivement toute sa surface à l'ouverture linéaire de la cloche et reçoit sur des points différents les poussières de l'air aux différentes heures de la journée.

Avant de mettre l'appareil en marche, on enduit d'une couche de vaseline l'intérieur de la cloche, le mouvement d'horlogerie et le pied que soutient le plateau ; puis l'on recouvre le mercure d'un peu de glycérine saturée de sublimé corrosif. On porte ensuite le cylindre d'ébonite recouvert de sa bande de papier nutritif à l'autoclave dans un bain de vapeur d'eau maintenue pendant une heure à 110°. On le remet en place sous la cloche, en ayant soin de placer au-dessus de lui un cristallisoir contenant des éponges imbibées d'une solution de bichlorure dans le

but de préserver de la dessiccation la gelée répandue sur le papier. Le tube adapté à la tubulure de la cloche est alors relié par un caoutchouc à un aspirateur qui détermine un courant d'air uniforme. On met le cylindre en mouvement après avoir noté le point de départ par un trait. Au bout de vingt-quatre heures, on marque un nouveau trait sur le point du papier qui correspond à l'ouverture de la cloche. On enlève le cylindre et on l'abandonne à lui-même sous une autre cloche vaselinée. Lorsque le développement des germes est jugé suffisant, on enlève le papier et on le fait sécher; on peut alors étudier les organismes qui le recouvrent.

Recherches statistiques.

Les recherches statistiques des bactéries de l'air consistent dans les opérations suivantes :

1° Préparation des conserves altérables d'une stérilité absolue démontrée par un essai préalable;

2° Ensemencement de ces conserves avec les précautions nécessaires;

3° Surveillance des conserves et leur examen.

A Montsouris on porte les flacons à ensemencement, les matras de culture, les pipettes à la température de 200° pendant quatre heures dans une étuve à gaz. M. Miquel a constaté qu'il faut au moins 146° à 147° pour tuer les germes desséchés. On procède alors au remplissage, avec des conserves stérilisées, des ballons de culture. On se sert pour cela de pipettes flambées. Comme pendant cette opération des germes de l'air peuvent se déposer à

la surface des conserves, on essaie les ballons de culture en les abandonnant pendant un temps assez long dans une étuve à 35° et l'on rejette ceux en petit nombre dans lesquels le liquide s'est altéré.

D'autre part le matras à trois tubulures reçoit 30 à 40 centimètres cubes d'eau distillée et après avoir vérifié que le capuchon et la tubulure, qui doit être mise en communication avec l'aspirateur, sont garnis de coton, on le porte à 110° dans un bain de vapeur d'eau, on le chauffe pendant deux heures à 110°. Après refroidissement, on le retire de l'autoclave, on le met en communication avec un aspirateur et on y fait passer de l'air bulle à bulle. L'aspiration terminée on produit par le tube en caoutchouc dans le matras une pression qui force le liquide à s'élever jusqu'à l'extrémité du col, puis on laisse la colonne d'eau redescendre par son propre poids. Par cette manœuvre recommencée 10 à 12 fois on lave complètement le col du matras par lequel l'air a été introduit. Enfin après avoir cassé la pointe on distribue le contenu de l'appareil dans 30 à 40 conserves. Le volume d'air aspiré doit être calculé de façon que les 3/4 ou les 4/5 des conserves ensemencées restent parfaitement limpides après étuvage. On conclut que le nombre des germes obtenus dans l'air aspiré était égal au nombre des ballons de culture qui ont fructifié. On peut être certain qu'à chaque ballon altéré ne correspond qu'un seul germe, si plusieurs groupes d'expériences effectuées dans des conditions identiques au même lieu et dans la même journée donnent des résultats à peu près identiques.

Les signes d'altération se manifestent après deux, trois

ou quatre jours, rarement après 24 heures. Le temps d'incubation des germes bactériens est du reste assez variable. Rarement l'éclosion n'a lieu qu'après 30 jours ; cependant quelquefois elle ne se produit qu'après 40, 50, 100 jours et même six mois. Cela arrive une fois sur 500 ; il n'y a donc pas d'inconvénient à ne pas tenir compte de ces altérations tardives. M. Miquel supprime définitivement vers le quarantième jour les conserves qui ne se sont pas altérées.

On reconnaît que des germes se sont développés et, jusqu'à un certain point, leur nature aux caractères suivants :

Si la liqueur conserve sa limpidité et présente un dépôt plus ou moins volumineux au fond du vase, il est dû souvent à la présence des micrococcus.

Un trouble uniforme, suivi de la formation d'un dépôt ou d'un voile indique la présence de diverses espèces de bactéries.

Enfin des nuages blancs flottant dans un liquide transparent ne sont autre chose que des mycéliums qui, quelquefois envahissent toute la masse. Des efflorences de différentes couleurs se reproduisant à la surface du liquide sont dues à des macédinées.

La majeure partie des conserves altérées par une fraction minime de poussière atmosphérique n'ont pas d'odeur putride très prononcée, les microbes de l'air sont peu putréfacteurs.

On constate encore l'altération des conserves par leur changement de couleur, par la production de gaz et de différents produits chimiques tels que le carbonate d'am-

moniaque, les acides lactique, butyrique, la tyrosne, la leucine, des ptomaïnes, etc.

L'examen microscopique des dépôts et des végétations est indispensable pour reconnaître les espèces de microbes qui se seront développés dans les milieux de cultures. Je donne ici sommairement leurs caractères.

MICROCOCCUS. — Schyzomycètes sphériques, isolés ou réunis en chapelet, nus ou entourés d'une matière gélatiniforme (zoogléa), immobiles. Micrococcus ureæ, M. aceti. M. aurantiacus. M. chlorinus. M. prodigiosus. M. Nitrificans. Sarcina, etc.

BACTÉRIUM. — Schyzomycètes cylindriques et dissociés. Bâtonnets courts et mobiles. B. lineola. B. catenula. B. xanthinum. B. syncyanum. B. œruginosum.

BACILLUS. — Schyzomycètes cylindriques en filaments non ramifiés, très minces. B. subtilis. B. anthracis. C. amylobacter.

LEPTOTHRIX.— Schyzomycètes cylindriques très longs, sans gaine gélatiniforme. L. buccalis.

CRENOTHRIX. — Schyzomycètes cylindriques très longs, avec gaine gélatiniforme. C. polyspora.

CLADOTHRIX. — Schyzomycètes cylindriques très longs, divisés, bifurqués.

VIBRION. — Schyzomycètes en spirale se cassant facilement et laissant des bâtonnets arqués. V. serpens.

SPIRILLUM. — Schyzomycètes à quelques tours de spire, courts, raides. S. plicatilis.

SPIROCHETES. — Schyzomycètes à beaucoup de tours de spire, flexibles.

Nombre des bactéries trouvées dans l'air.

D'après M. Pasteur ce nombre est peu élevé ; dans un mémoire publié en 1878 par ce savant, il dit, en effet : (1) « L'observation nous montre chaque jour que le nombre des germes aériens des bactéries, est pour ainsi dire insignifiant à côté de ceux qui sont répandus dans les poussières à la surface des objets ou dans les eaux communes les plus limpides. » M. Miquel pense que ce nombre n'est pas négligeable et que si les eaux renferment infiniment plus de microbes que l'air, un parisien en introduit plus dans ses poumons qu'il n'en absorbe par l'eau nécessaire à son alimentation.

Le chiffre des bactéries de l'air varie du reste avec les conditions météorologiques, ainsi que le montre le tableau suivant des moyennes mensuelles obtenues à Montsouris :

Bactériens récoltés au parc de Montsouris.

Mois	Microbes par mètre cube. Année moyenne
Janvier	225
Février	155
Mars	495
Avril	420
Mai	575
Juin	495
Juillet	740
Août	685
Septembre	605
Octobre	500
Novembre	335
Décembre	225
Moyenne annuelle	455

(1) Pasteur. Théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie (comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, t. LXXXVI, 1878.)

Ce nombre diminue pendant les pluies et augmente quand l'humidité a disparu du sol pour diminuer ensuite si la sécheresse se prolonge.

La force du vent rend l'air très impur pendant la sécheresse. La direction du vent a également une influence non douteuse sur la quantité de bactéries que l'air renferme. A Montsouris les vents qui ont traversé Paris sont toujours riches en microbes.

Plusieurs micrographes distingués ont affirmé la présence des bactéries dans la vapeur d'eau émanée d'infusions altérées; cette assertion est erronée de même que celle qui prétend que les chaleurs humides sont favorables à la diffusion des germes. On ne doit pas confondre la vaporisation insensible avec la pulvérisation qui est une division des liquides en gouttelettes, lesquelles se vaporisent et laissent à sec les bactéries dont elles étaient chargées.

L'impureté de l'air est plus grande dans les villes qu'à la campagne ; à Paris elle croit de la périphérie au centre. L'atmosphère de cette ville est neuf à dix fois plus chargée de microbes que l'air qui circule dans les fortifications. Ainsi un mètre cube d'air de la rue de Rivoli renferme 3910 bactéries tandis qu'à Montsouris il n'en contient que 455. D'où vient cette augmentation ? De la boue des rues dans lesquelles on jette toutes sortes de détritus organiques. Après dessiccation ces matières sont pulvérisées par le roulage et les passants, puis le vent les emporte dans l'air. Le meilleur moyen de purifier l'air des villes est d'envoyer les eaux ménagères à l'égout et d'enlever avec soin tous les détritus organiques solides.

Dans les maisons convenablement aérées la pureté de

l'air dépend de celle de l'air extérieur. Les habitations bien tenues sont plus saines à la campagne que dans les villes. L'air des étages élevés est plus salubre que celui des étages inférieurs. On a, en effet, constaté que l'air recueilli au sommet des édifices renferme beaucoup moins de germes qu'à peu de distance du sol. Dans les habitations malpropres et situées dans les rues étroites où l'air à un accès difficile, il se produit des foyers producteurs de microphytes dont les germes s'ajoutent aux microbes venus de l'extérieur ; l'air y est très malsain.

Bactéries épidémiques.

L'observation démontre que les maladies infectieuses et épidémiques se transmettent par les eaux potables et les rivières. Cependant il est des cas d'invasion de ces maladies qui ne peuvent s'expliquer que par le transport des germes avec les poussières. Tout fait supposer que le transport des microbes pathologiques ne se fait qu'à une faible distance. On ne peut sur ce sujet que faire des conjectures. Découvrir les germes des maladies contagieuses dans l'air présente des difficultés insurmontables. Tout ce que l'on peut faire c'est de comparer le nombre des germes de l'air au nombre des décès. On a constaté que chaque recrudescence de décès par les maladies infectieuses est suivie d'une augmentation du nombre des microbes dans l'air.

Bactéries des hôpitaux.

Là comme à l'air libre on est impuissant à découvrir les microbes agents des maladies contagieuses. Les observateurs ont constaté dans les hôpitaux l'abondance des bactéries. M. Miquel a trouvé par mètre cube d'air

A l'Hôtel-Dieu en moyenne..............	40.000	microbes.
Dans les égoûts de la rue de Rivoli......	6.000	—
Au parc Montsouris (plein air)...........	480	—
A la Pitié..............................	79.000	—

Les hôpitaux ne sont pas sans danger pour la population environnante. M. le Dr Bertillon a constaté qu'en 1880 les décès par la variole ont été nombreux autour de l'annexe de l'Hôtel-Dieu. On a relevé pour janvier et février 49 décès par la variole alors que proportionnellement à la population et à l'intensité de l'épidémie le quartier aurait dû en fournir moins de 3. On explique cette aggravation par ce fait que l'aunexe de l'Hôtel-Dieu a été pendant ce temps un dépôt où l'on dirigeait les varioleux des autres services hospitaliers. L'hôpital St-Antoine ayant remplacé le dépôt de varioleux de l'annexe, le quartier des Quinze-Vingts enregistra 3 à 4 décès de plus par la variole que ne le comporte sa population.

Dans les asiles de femmes en couches on constate souvent l'accumulation des microbes et il n'est pas rare d'y voir l'infection puerpérale sévir avec intensité. Ailleurs c'est l'érysipèle dont la fréquence fait hésiter les médecins à pratiquer les opérations les plus légères.

Ces observations font naître de graves présomptions contre ces êtres microscopiques qui pullulent là ou les maladies sont plus meurtrières qu'ailleurs. Aussi les médecins et les hygiénistes se prémunissent-ils avec raison contre eux. Déjà les chirurgiens obtiennent de nombreux succès par l'emploi des méthodes antiseptîques. Les résultats obtenus par les savants qui s'occupent de l'étude des germes de l'air doivent les engager à persévérer dans leurs recherches et font naître l'espoir que bientôt ils découvriront les causes des maladies épidémiques qui désolent l'humanité.

BIBLIOGRAPHIE.

ARISTOTE. — Métaphysique I, 3. De respirat. I, 2 et 3.

DIOGÈNE LAERT. — IX, 57.

SIMPLICIUS. — In. phys. Arist. I.

ALEXANDRE. APHROD. — Quæst. natur. II, 23, fol. 28.

SENÈQUE. — Quæst. natural. II, 6.

J. REY. — Essais sur la recherche de la cause pour laquelle l'estain et le plcmb augmentent de poids quand on les calcine. Bazas, 1630.

MAYOW. — Tractatus quinque medico-physici ; Oxonii, 1674.

SCHEELE. — Chemische Abhandlung von der Luft und Feuer. Upsal et Leipzig, 1777.

SCHEELE. — Traité chimique de l'air et du feu, etc., traduit de l'allemand par le baron de Dietrich, p. 145, Paris, 1781.

SCHEELE. — Quantum æris puri in atmosphera quotidie insit. Acta Acad. reg. suec., Anni, 1779.

PRIESTLEY. — Expériences et observations sur différentes espèces d'air. Trad. Gibelin, Paris, 1777.

LA MÉTHERIE. — Essai analytique sur l'air pur et les différentes espèces d'air, 1785.

Lavoisier. — Œuvres complètes. Edition J.-B. Dumas, 1864.

Gay-Lussac et de Humboldt. — Annales de chimie t. III, 1804.

Dumas et Boussingault. — Sur la véritable constitution de l'atmosphère. Ann. de chimie et de phys. t. III.

Brunner. — « Procédés pour l'analyse de l'atmosphère ». Ann. de chimie et phys. (3), t. III.

Regnault et Reiset. — Analyse des gaz. Ann. de chimie et phys. t. XXVI.

Frankland et Ward. — Modifications au système de mesure des gaz dans l'appareil de M. Regnault. Jour. of the chem. Soc., t. VI.

Doyère. — Méthode d'analyse des gaz. Ann. de chim. et phys. t. XXVIII.

Bunsen. — Méthodes gazométriques. Trad. Schneider. Paris, 1858.

Williamson et Russel. — Modification aux méthodes eudiométriques de Bunsen. Proceedings of the R Society. t. IX.

Boussingault. — Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences, 57, p. 885.

Cloez. — Comptes-rendus. 57, p. 870-875,

Ang. Smith. — Jour. chem. Soc., 13, p. 22.

Regnault. — Ann. de chimie et phys., 36, p. 385.

Cornu. — Comptes-rendus, 88, p. 1285.

Th. de Saussure. — Dosage de l'acide carbonique dans l'atmosphère. Ann. de chimie et phys., t. II et XXXVIII.

Thénard. — Dosage de l'acide carbonique dans l'air. Traité de chimie. 5e édit., t. I.

BOUSSINGAULT et LÉWY. — Sur la quantité d'acide carbonique contenu dans l'air de Paris. Ann. de chim. et phys., t. X, p. 470.

PETTENKOFFER. — Annalen. chem. pharm. suppl. 2, p. 1. et Jour. für prakt. chem., t LXXXII.

W. HESSE. — Vierteljahr. f. gericht. medecin und öffent. Sanitatswesen. N. F. 31, p. 32.

G. LUNGE. — Divigl. pol. I. 231, p. 331.

CL. WINKLER. — Divigl. pol. I. 231, p. 385.

J. REISET. — Comptes-rendus, 90, p. 1144 et 1457.
— 88, p. 1007;

LÉWY. — Comptes-rendus, 31, p. 725 et 33, p. 345.

VERVER. — Berzelius Jahresbericht, 22, p. 45.

MARIÉ-DAVY. — Comptes-rendus, 90, p. 1287. Annuaires de Montsouris, 1877 et 1885.

F. MOHR. — Analyses par les liqueurs titrées. Trad. Forthomme.

A. LÉVY. — Ann. de Montsouris, 1886. Dosage de l'acide carbonique.

MUNTZ et AUBIN. — Comptes-rendus, 92, p. 247 et 1230.
— 93, p. 797.

MÈNE. — Répert. de chimie appliquée, t. IV, p. 475, t. V, p. 332.

THORPE. — Bull. Soc. chim., IX, p. 198 et chem. news, XII. p. 297.

SCHLŒSING. — Comptes-rendus, 90, p. 1410.

F. LE BLANC. — Sur l'air confiné. Ann. de chim. et phys. V (3).

SCHŒNBEIN. — Pogg. Ann ; 1840, t. L.

ANDREWS. — Ann. chem. pharm. suppl. 6 et Bull. soc. chim. X, p. 10.

LÉVY. — Dosage de l'ozone. Ann. Montsouris, 1878.

ANNUAIRE DE MONTSOURIS, 1878. — Dosage de l'azote ammoniacal.

FLUGGE. — Lehrbuch der Hygien ; Untersuchung. Methoden. Leipzig, 1881.

BOUSSINGAULT. — Comptes-rendus, 44, p. 1034.

HORSFORD. — Ann. chem. pharm. 74, p. 243.

LÉVY. — Comptes-rendus, 91, p. 94.

SCHLŒSING. — Comptes-rendus, 80, p. 265.

ANNUAIRE DE MONTSOURIS, 1886. — Dosage de l'azote ammoniacal et tables.

SCHŒNBEIN. — Denkschrifft. über das Ozon ; p. 16, Bâle, 1849.

BERTHELOT. — Ann. de chim. et phys. (5), t. XII, p. 441, t. X, p. 51-63.

BINEAU. — Ann. de chimie et phys. (3), t. XLII.

ANNUAIRE DE MONTSOURIS 1885 et 1886. — Dosage de l'azote nitrique et tables.

SCHOENE. — Bericht. deut. chem. Gesellschaft, XIII, p. 1503, XI, p. 482, 561, 874, 1028.

CHATIN. — Comptes-rendus, 32, p. 1083.

VAN ANKUM. — Journ. präkt. Chem., 63, p. 257.

MUNTZ. — Comptes-rendus, 92, p. 499.

PASTEUR. — Sur les corpuscules organisés de l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. Ann. de chim. et phys. (3), t. LXIV.

PASTEUR. — Comptes-rendus, 50, p. 302.

— 85, p. 178.

TYNDALL. — Roy. inst. proc., 1870.

MIQUEL. — Comptes-rendus, 86, p. 1552.

GAULTIER DE CLAUBBY. — Comptes-rendus, 41, p. 645.

D. THOMPSON. — Appendix to report of the comm. for scientific inquiries in the cholera épidemie, 1854.

BAUDRIMONT. — Comptes-rendus, 41, p. 542.

MADDOX. — Monthly microscopical Journal, t. III, p. 286.

DOUGLAS CUNNINGHAM. — Microscopic examinations of air. Calcutat, 1873.

PASTEUR. — Comptes-rendus, 1878, t. LXXXVI, théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chimie.

MIQUEL.— Les organismes vivants de l'atmosphère. Paris, 1883.

G. TISSANDIER. — Les poussières de l'air. Paris, 1877 et comptes-rendus, 91, p. 522.

ANNUAIRE DE MONTSOURIS, 1886. — Recherche des bactéries. Tables.

DEVILLE (Ch. Ste Claire) et LE BLANC. — Gaz des évents volcaniques de l'Italie. Ann. de chim. et phys., LII.

BOUSSINGAULT. — Ann. de chim. et phys. (3), p. 5.

REGNAULT et REISET. — Comptes-rendus, 26, p. 17.

PETTENKOFFER. — Ann. chem. pharm., 141, p. 299.

DUMAS et BOUSSINGAULT. — Essai de statistique chimique des êtres organisés, 3e édit., p. 18.

GORUP-BESANEZ. — Physiol. chim., 3, p. 56.

STANISLAS MEUNIER. — Annales agronomiques, 5, p. 504.

BIOT. — Traité de physique, t. II, p. 458.

VOGEL. — Spectralanalyse irdischer Stoffe. Nordlingen, 1877, p. 254.

KETTELER. — Pogg. ann., 124, p. 401.

HUGGINS. — Pogg. ann., 123, p. 275.

ANGSTROM. — Pogg. ann., 94, p. 141.

CHAPPUIS. — Comptes-rendus, 91, p. 985.

PAUL BERT. — La pression barométrique, 1878.

A. GAUTIER. — Chimie appliquée à la physiologie, à la pathologie et à l'hygiène. Paris, 1874.

P. SCHUTZEMBERGER. — Chimie générale, t. I et II.
